

Trabajo Fin de Grado

Utilización de medios RPAS en unidades de
Ingenieros para levantamientos topográficos.

Autor

CAC. D. Guillermo Julián Marcos Peláez

Directores

Dr. D. Alberto García Martín
Cap. D. José Manuel Barbancho Pérez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2016-2017

Agradecimientos

En agradecimiento especial a los Oficiales, en concreto a mi Director Militar, Suboficiales y Tropa de la 1ª Compañía de Caminos del Regimiento de Especialidades nº11, al Capitán Batanero, encuadrado en la compañía de RPAS de la Base Aérea de Maticán, por la información proveída y su amabilidad para facilitar la visita realizada a la citada base durante mis prácticas externas, a D. Ángel Herránz de la empresa Leica Geosystems por su predisposición y ayuda, y a mi Director Académico, por su ofrecimiento y ayuda a la hora de realizar este trabajo.

Resumen

En este proyecto se analiza la viabilidad de la implementación de RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) en una unidad de ingenieros para la realización de levantamientos topográficos. La utilización de estos medios para este fin implicaría, a priori, una mejora de la eficiencia en este tipo de actividades, aumentando los ritmos de trabajo y disminuyendo los riesgos del personal implicado en estas tareas, al no exponerlos en terrenos no reconocidos.

Para conseguir este objetivo principal, se plantea alcanzar una serie de objetivos parciales: determinar las necesidades y medios actuales que se utilizan en la unidad de ingenieros donde se realizaron las prácticas externas para realizar un levantamiento topográfico, analizar los RPAS existentes en el mercado para estos fines, estudiar la normativa vigente, determinar las necesidades formativas para operar con estos instrumentos, analizar los riesgos que conlleva su implementación y, finalmente, analizar los costes.

Como conclusión general de este trabajo se extrae que la implementación de sistemas RPAS para la realización de levantamientos topográficos en la unidad de ingenieros seleccionada presenta unas ventajas muy claras que aumentarían de manera notable la eficiencia de los trabajos y disminuirían los riesgos actuales, proponiéndose la adquisición de un modelo concreto de los muchos estudiados.

Abstract

This project analyzes the feasibility of the implementation of RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) in an engineer unit with the purpose of surveying. The use of these means would involve an improvement of the efficiency in this type of activities. It would mainly increase the pace of work and reduce the risks of the staff involved by not exposing them in non-recognized land.

To achieve this main aim, this project tries to achieve a series of partial objectives: to determine current needs and means used by the engineer unit where I have done the internship for mapping and surveying, to analyze the existing RPAS on the market for these purposes, to study the current legislation, to determine the formative needs to operate these instruments, to analyze the risks involved in its implementation and, finally, to analyze the costs.

As a general conclusion of this work, the implementation of RPAS systems for surveying in the engineer unit selected presents clear advantages that would increase significantly the efficiency of work and would decrease the current risks and determining the purchase of a specific model of the many studied.

Índice

Índice de figuras	ix
Índice de tablas.....	ix
Lista de acrónimos.	x
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.1.1. El Batallón de Caminos del Regimiento de Especialidad de Ingenieros nº11.....	1
1.1.2. Motivación.....	3
1.2. Objetivos del trabajo.....	3
1.3. Metodología y herramientas	4
Capítulo 2. Resultados	5
2.1. Necesidades y medios actuales que utiliza el Batallón de Caminos del REI 11 para realizar un levantamiento topográfico	5
2.2. Análisis de los RPAS existentes en el mercado para la realización de levantamientos topográficos	9
2.2.1. Sistemas RPAS: partes constituyentes	9
2.2.2. Clasificación RPAS	11
2.2.3. RPAS adecuados para realizar levantamientos topográficos en el seno del Batallón de Caminos del REI 11.....	12
2.3. Normativa legal aplicable al uso de RPAS para levantamientos topográficos....	19
2.4. Necesidades formativas para la integración efectiva de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11	22
2.4.1. Organización de unidades con medios RPAS	22
2.4.2. Adiestramiento e integración de estas URPAS en el Batallón de Caminos del REI 11	24
2.5. Análisis de riesgos derivados del uso de RPAS	25
2.6. Análisis de costes de la implantación de RPAS	27
Capítulo 3. Conclusiones	28
3.1. Conclusiones del trabajo.....	28
3.2. Líneas a futuro	29
Capítulo 4. Bibliografía	30
Capítulo 5. Apéndices	32

Índice de figuras

Figura 1 - Organigrama del Batallón de Caminos I/11.	2
Figura 2 - Estación total.	5
Figura 3 - Captura de imagen en la cual se observa el tratamiento de la nube de puntos obtenida.	8
Figura 4 - Ejemplo de una plataforma quad-rotor de un RPAS.	9
Figura 5 - Elementos terrestres de control del RPAS.	10
Figura 6 - Gráfico con los resultados obtenidos en la encuesta (Ver Apéndice A) de la valoración de “Aspectos importantes de un RPAS” (de 1-poco importante- a 5 –muy importante).	13
Figura 7 - Zonas geográficas.	19
Figura 8- Organización URPAS.	23
Figura 9 - Sistema de simulación RPAS.	24
Figura 10 - RPAS multirrotor PHANTOM 4.	25
Figura 11 - Matriz de riesgos.	26
Figura 12 - Gráfico con los resultados obtenidos en la valoración de los aspectos más importante de un RPAS.	38
Figura 13 - Análisis de riesgos.	45

Índice de tablas.

Tabla 1 – Clasificación según la OTAN.	11
Tabla 2 - Especificaciones técnicas de los RPAS.	12
Tabla 3 – RPAS multirrotor adecuados para levantamientos topográficos.	14
Tabla 4 - RPAS ala fija adecuados para levantamientos topográficos.	15
Tabla 5 - Ponderación de las especificaciones técnicas.	17
Tabla 6 - Ponderación de los modelos seleccionados.	18
Tabla 7 - Ponderación de cada Alternativa.	18
Tabla 8 - Competencias AESA.	20
Tabla 9 - NOTAM.	21
Tabla 10 - Costes.	27
Tabla 11 - Porcentaje del personal encuestado.	33
Tabla 12 – Resultados de la valoración de los aspectos técnicos de un RPAS.	37
Tabla 13 – Matriz de riesgo.	41
Tabla 14 – Índices de riesgo.	41
Tabla 15 – Índices de riesgo.	42
Tabla 16 – Medidas.	42

Lista de acrónimos.

AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
AFI	África
AGL	Above Ground Level
AGM	Academia General Militar
AMSL	Metres About Sea Level
BLOS	Beyond Line Of Sight: Más allá de la línea de visión
BOE	Boletín Oficial del Estado
BR	Bases de Replanteo
CAR	Caribe
CNIG	Centro Nacional de Información Geográfica
CMT	Campos de Maniobras y Tiro
CUD	Centro Universitario de la Defensa
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DIRMIL	Director militar
EUR	Europa
EPSG	European Petroleum Survey Group
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
FAS	Fuerzas Armadas
LNA	Ley de Navegación Aérea
LOS	Line Of Sight: Línea de visión directa
MDT	Modelo Digital del Terreno
MID	Oriente Medio
MING	Mando de Ingenieros
MTOW	Maximum Take Off Weight: Máximo peso antes del despegue
NAM	América del Norte
NAT	Atlántico Norte
NOTAM	Notice to Airman: Notificar al controlador
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte

PAC	Asia - Pacifico
PEXT	Prácticas Externas del Grado
PNOA	Plan Nacional de Orto fotografía Aérea
REI 11	Regimiento de Especialidades de Ingenieros nº 11
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
RTK	Real Time Kinematic: Navegación cinética satelital en tiempo real
TFG	Trabajo Fin de Grado
SAM	América del Sur
SIG	Sistemas de Información Geográfica
UCO	Unidades, Centros u Organismos
UNIZAR	Universidad de Zaragoza
URPAS	Unidad RPAS
USAL	Universidad de Salamanca
ZOTER	Zona Temporalmente Restringida para la Operación de RPAS

Capítulo 1. Introducción

En esta memoria se recogen los aspectos más significativos desarrollados en la realización del Trabajo Final de Grado (TFG) que permite la obtención del Grado de Ingeniería de Organización Industrial, en el perfil de defensa, impartido por el Centro Universitario de la Defensa (CUD), centro adscrito a la Universidad de Zaragoza que se encuentra en la Academia General Militar de Zaragoza (AGM). Aquellos aspectos más técnicos del mismo están recogidos en los diferentes apéndices adjuntos a esta memoria.

1.1. Contexto

El presente proyecto surge por la propuesta del Regimiento de Especialidades de Ingenieros nº 11 (REI 11), sito en el Acuartelamiento "General Arroquia", en la provincia de Salamanca, de encontrar un método más eficiente y seguro que el que actualmente está utilizando el Batallón de Caminos de este Regimiento para la realización de levantamientos topográficos. En este sentido, el REI 11 apuntó desde un principio la potencialidad que los medios RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) (término usado para denominar al sistema completo, compuesto por la aeronave, el enlace de comunicaciones y la estación de tierra, de las aeronaves no tripuladas que son operadas mediante control remoto (Montero, 2016)), pueden tener para mejorar la eficiencia de los levantamientos topográficos en territorio nacional, disminuyendo el tiempo y el personal necesario. Asimismo, se destacaba la posibilidad de despliegue que ofrecen estos medios en Zona de Operaciones fuera de territorio nacional, con lo que se permitiría un aumento de la seguridad en el trabajo.

Considerando estas premisas como ciertas a priori, este proyecto busca determinar la mejor opción de RPAS para la realización de levantamientos topográficos teniendo en cuenta las necesidades y problemas existentes en el Batallón de Caminos del REI 11, los tipos de RPAS que existen en el mercado capaces de hacer estas funciones, la normativa legal aplicable a estos instrumentos, las formación para su uso y los preceptivos análisis de los riesgos y costes que conllevarían la implantación de estos RPAS en el citado Batallón de Caminos.

1.1.1. El Batallón de Caminos del Regimiento de Especialidad de Ingenieros nº11

El Batallón de Caminos del REI 11 es una unidad de ingenieros creada en 1988 a partir del Regimiento Real de Zapadores-Minadores. Este, para hacer frente a las misiones encomendadas, se articula en las siguientes unidades que facilitan su preparación y cohesión interna (Figura 1) (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2011):

- Mando.
- Plana mayor.
- Compañía de plana mayor y servicios:

- *Sección de mando*, encargada de la organización de los puestos de mandos.
 - *Sección técnica de mantenimiento*, cuenta con el personal y medios materiales necesarios para el mantenimiento.
 - *Sección de abastecimiento*.
 - *Sección de puentes*, dispone del personal y material necesario con la función del tendido de puentes.
- Tres compañías de caminos:
- *Sección de apoyo*, dotada de personal y materiales de ingenieros capaces de preparar pavimentos de tierra, bituminosos y de hormigón, transporte del material específico de la compañía, explotación de recursos locales y para apoyo especializado en la ejecución de las obras auxiliares de infraestructura.
 - *Tres secciones de máquinas*, dotadas con personal y materiales de ingenieros con capacidad de excavación, carga y transporte de tierras y de nivelación y compactación de terreno.

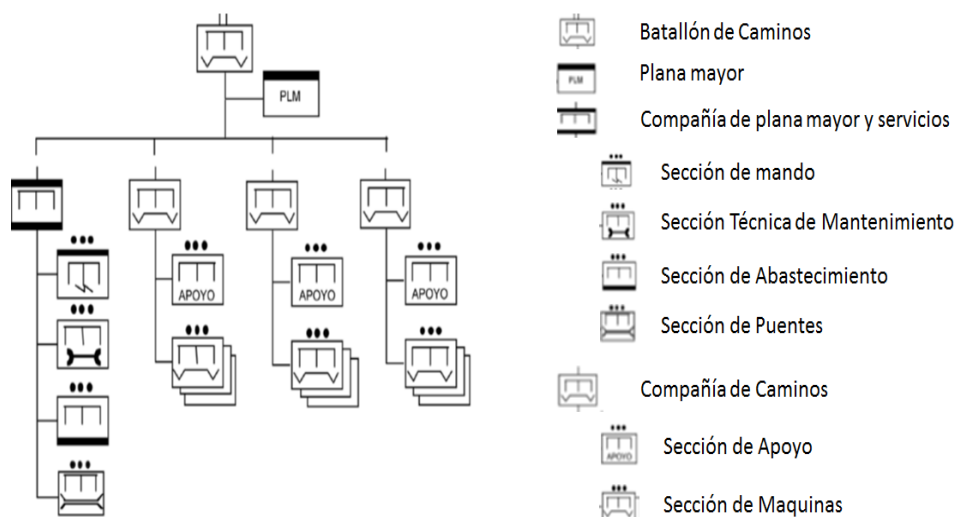


Figura 1 - Organigrama del Batallón de Caminos I/11.
Fuente: (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2011).

Con esta estructura, el Batallón de Caminos tiene capacidad para realizar proyectos y presupuestar y ejecutar obras de infraestructura horizontal, quedando la construcción vertical para el Batallón de Castrametación del REI 11. Asimismo, está capacitado para gestionar y controlar la contratación de mano de obra auxiliar y de empresas civiles y para la explotación local de recursos. De acuerdo con estas capacidades, se le exigen las siguientes responsabilidades, tanto en territorio nacional como en zona de operaciones:

- La realización de levantamientos topográficos que sirvan como base para diseñar y realizar los proyectos de construcción, reconstrucción y mantenimiento encargados en el seno del REI 11.
- Construcción, reconstrucción y mantenimiento de carreteras y caminos, instalaciones de puentes de circunstancias y refuerzo o reparación de los existentes.

- Apoyo a la construcción, reparación y mantenimiento de la explanación y drenaje de la infraestructura de vías de ferrocarril en tareas que no requieran materiales de superestructura.
- Apoyo en la construcción, reparación y mantenimiento de aeródromos y helipuertos.

1.1.2. Motivación

Aunque este proyecto se centra en el Batallón de caminos del REI 11 (Unidad donde se han realizado las prácticas externas del grado (PEXT)), la motivación de este proyecto va más allá, ya que se considera el primer paso para la introducción de una nueva tecnología que, en estos momentos, no está introducida en ninguna Unidad del Arma de Ingenieros del Ejército de Tierra. La tecnología de los RPAS está en auge y en continua evolución (Departamento Comunicación, 2015), por lo que es conveniente que el Ejército de Tierra tome parte en ella, cuestión esta no siempre fácil, dado que en toda organización de gran tamaño hay siempre una cierta resistencia a los cambios tecnológicos. Sin embargo, los avances conseguidos por los RPAS en la temática tratada en este trabajo, indican que a priori son medios adecuados para mejorar los esquemas operativos actuales en el Arma de Ingenieros, además de aumentar la seguridad de sus componentes en Zona de Operaciones, aspecto este esencial en el Ejército de Tierra.

1.2. Objetivos del trabajo

El objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad de implantar medios RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11 para la realización de levantamientos topográficos. Para el cumplimiento de este objetivo es necesaria la consecución de una serie de objetivos parciales que se exponen a continuación:

- Determinar las necesidades del Batallón de Caminos del REI 11 y conocer los medios actuales que utilizan para realizar levantamientos topográficos, analizando la eficiencia de los mismos y los riesgos que estos procedimientos tienen para sus integrantes.
- Analizar los RPAS existentes en el mercado más adecuados para la realización de esta tarea mejorando la eficiencia actual y minimizando los riesgos.
- Conocer la normativa legal aplicable al uso de RPAS para levantamientos topográficos.
- Estudiar las necesidades formativas para la integración de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11.
- Analizar los riesgos derivados del uso de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11.
- Analizar los costes de la implantación de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11.

1.3. Metodología y herramientas

La metodología planteada para la consecución del objetivo principal se articula en seis fases, que están íntimamente ligadas con los objetivos parciales planteados:

- **Determinación de las necesidades del Batallón de Caminos del REI 11 para realizar levantamientos topográficos y conocimiento de los medios actuales que utiliza para realizar esta tarea.** Esta determinación y conocimiento se basará en la utilización de dos fuentes de información: (i) los manuales de doctrina y adiestramiento relativos a esta temática; y (ii) la experiencia previa de los efectivos destinados en el del Batallón de Caminos del REI 11, obtenida a partir de la integración del que suscribe esta memoria en la Unidad durante la realización de las PEXT.
- **Análisis de los RPAS existentes en el mercado más adecuados para la realización de esta tarea mejorando la eficiencia actual y minimizando los riesgos.** Esta fase se basará primeramente en identificar una serie de requisitos que, según oficiales del Batallón de Caminos del REI 11, del Ejército del Aire encuadrados en la compañía existente de RPAS y de la experiencia propia adquirida a partir de las búsquedas realizadas en Internet y el contacto directo con empresas, debería tener un RPAS para ser considerado como óptimo para realizar levantamientos topográficos. A continuación, la importancia de estos requisitos será evaluada por especialistas en la realización de levantamientos topográficos del citado Batallón mediante una encuesta estratificada por empleo. Finalmente, en base a los resultados obtenidos en esta encuesta, se seleccionarán una serie de modelos RPAS que cumplen estos aspectos técnicos, utilizándose un método de selección multicriterio para proponer la adquisición de uno de ellos.
- **Conocimiento de la normativa legal aplicable al uso de RPAS para levantamientos topográficos.** Se consultará la legislación actual que existe sobre el uso de estos aparatos.
- **Estudio de las necesidades formativas para la integración efectiva de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11.** A partir del estado de formación de los componentes de esta unidad, se determinará la necesidad de realización de éstos tanto para operar RPAS como para explotar los datos recabados por estos aparatos de cara a realizar levantamientos topográficos.
- **Análisis de los riesgos derivados del uso de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11.** Para el análisis de riesgos se utilizará una matriz de impacto donde se clasificarán los distintos riesgos en función de su probabilidad y gravedad.
- **Análisis de los costes de la implantación de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11.** En esta última fase se contabilizará la inversión que supondría no sólo la adquisición del (o los) RPAS más adecuado para la realización de levantamientos topográficos según las fases anteriores, sino también los derivados de la formación de los componentes de la unidad encargada de manejarlo.

Capítulo 2. Resultados

2.1. Necesidades y medios actuales que utiliza el Batallón de Caminos del REI 11 para realizar un levantamiento topográfico

Un levantamiento topográfico consiste en realizar la descripción de un terreno llevando a cabo un análisis de una superficie completo incluyendo cualquier tipo de accidente, ya sea natural o artificial (Departamento Comunicación, 2015). La necesidad de este trabajo es de primer orden y es la que determina la consecución de planos precisos y exactos sobre el terreno describiendo, principalmente, el relieve, es decir, la variación de cotas de altura de la superficie delimitada. Siempre se debe contar con la suficiente información topográfica para diseñar o realizar un proyecto de construcción, por lo que esta actividad tiene un papel importantísimo dentro del arma de Ingenieros. Este proceso es la base del desarrollo de proyectos de construcción de infraestructuras, viales y puentes. En resumen, el objetivo de los levantamientos topográficos es conseguir la posición relativa y la altura de dos o más puntos sobre un plano horizontal, dando lugar a los planos y mapas que sirven como base para, posteriormente, ejecutar cualquier tipo de obra o infraestructura.

En los levantamientos topográficos se miden dos variables para describir el terreno de forma precisa: ángulos y distancias (horizontales y verticales). Gracias al avance tecnológico, en el seno del Arma de Ingenieros se evolucionó del teodolito a un teodolito electrónico y posteriormente a una estación total (Figura 2). Este instrumento es un medio electro-óptico cuyo funcionamiento se basa en un principio geométrico, conocido como “triangulación”, mediante el cual se determinan las coordenadas geográficas de un punto a partir de otros dos conocidos (Santamaría Peña, J., & Sanz Méndez, T., 2005).

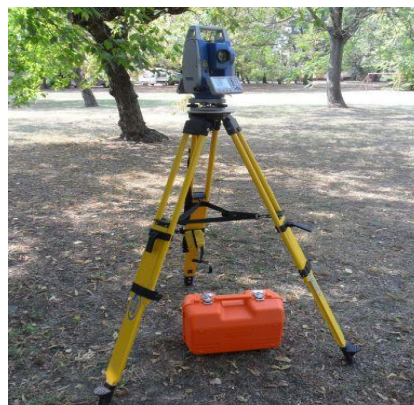


Figura 2 - Estación total.
Fuente: (Topografía, 2014).

En el REI 11, la oficina técnica del Batallón de Caminos del citado Batallón es la encargada de realizar los levantamientos topográficos. Esta oficina técnica está compuesta por un oficial politécnico, un sargento especialista en la materia y tres delineantes. En concreto, en el momento de realizarse las PEXT, el Capitán Mengod era el oficial politécnico jefe de dicha oficina técnica y el Sargento Estévez el suboficial

especialista, siendo ambos los encargados del procedimiento y métodos utilizados para la consecución del levantamiento topográfico en el REI 11.

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado actualmente por la oficina técnica del Batallón de Caminos del REI 11. Tal y como fue indicado por el Capitán Mengod y el Sargento Estévez, y como aparece recogido en el documento técnico interno “Metodología levantamientos topográficos” (Oficina Técnica BCAM I/11, 2016a), este procedimiento se divide en tres fases:

1. Antecedentes.

Previamente a la realización de un levantamiento topográfico es necesario conocer distintos datos relacionados con el área a estudiar:

- *Características y dimensiones del estudio a proyectar.* Cuestión que determina los recursos a utilizar en el futuro levantamiento topográfico.
- *Ubicación del estudio.* Esencial para determinar el medio de transporte para el personal y el material requerido.

Así, estos requisitos configuran tanto los métodos como las actuaciones a desarrollar para una correcta elaboración de un informe de levantamiento topográfico.

Según la experiencia acumulada en el seno de la oficina técnica del Batallón de Caminos del REI 11, para este primer proceso se emplea, aproximadamente, media jornada de trabajo, lo que equivale a 3 horas de trabajo continuado.

2. Desarrollo de los trabajos.

Esta parte del proceso se compone de dos fases claramente diferenciadas:

- *Información previa.*

Una vez evaluados los antecedentes del proyecto se procede a la obtención de datos previos a la propia realización del levantamiento topográfico. Generalmente se requiere la descarga de datos procedentes del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>). La información descargada más habitual es:

- Ortofotos georreferenciadas del PNOA (Plan Nacional de Orto fotografía Aérea) de la zona sometida a estudio. Estas ortofotos ofrecen información de gran precisión espacial (0,5 ó 0,25 m), existiendo diversas series en todo el territorio nacional desde 2004 con una periodicidad aproximada de 3 años (ver <http://pnoa.ign.es/vuelo-fotogrametrico>).
- Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona sometida a estudio. Un MDT se define como una “estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua” (Felicísimo, 1995) siendo esa variable, en el caso del presente trabajo, información altimétrica. El CNIG distribuye esta información en formato de capas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ráster (mallados de celdas regulares, denominadas píxeles), siendo el tamaño de los píxeles de estas capas de 5 ó de 25 m dependiendo del área de

estudio. Este mismo formato es el buscado en los MDT creados por el Batallón de Caminos.

- Reseñas de Vértices Geodésicos. Son datos de los vértices cercanos a la zona de estudio en coordenadas ETRS89 -*European Terrestrial Reference System 1989*- con precisión milimétrica que sirven de apoyo para la determinación de Bases de Replanteo (BR) y el establecimiento de una poligonal.

Una vez obtenidos todos estos datos previos al levantamiento topográfico, es necesaria su carga y tratamiento tanto en el software de la oficina técnica (en el caso del Batallón de Caminos del REI 11, en el programa “AutoCAD Civil 3D” (<http://www.autodesk.es/products/autocad-civil-3d/overview>), como en el equipo topográfico con el que se van a efectuar los trabajos en el terreno (estación total). Esta fase está estimada en el seno de la oficina técnica en una jornada de trabajo de entre 6 horas y 8 horas.

- *Levantamiento topográfico.*

Recabada la información previa, se procede al levantamiento topográfico mediante el concurso de una estación total y el personal especializado del Batallón. Este proceso queda determinado por las distintas condiciones meteorológicas de la zona y por la visibilidad que ofrece el terreno, que está condicionada por la existencia de vegetación y/o edificios. La experiencia del personal del Batallón indica que el tiempo estimado de trabajo por cada 10.000 m² con buenas condiciones meteorológicas y buena visibilidad está en torno a las 2 horas, mientras que con mala visibilidad y malas condiciones meteorológicas el tiempo mínimo empleado son 4 horas. El proceso del levantamiento topográfico está compuesto por varias fases que se detallaran a continuación:

- Inspección visual de la zona.

Una vez situados en la zona donde se van a desarrollar los trabajos, se procede a la realización de una inspección visual que abarca la superficie objeto de proyecto, así como las zonas colindantes observando todos aquellos aspectos claves que puedan influir en la futura ejecución de las obras como líneas de quiebro del terreno, edificaciones, canalizaciones diversas, líneas aéreas, etc.

- Establecimiento de una poligonal.

Se denomina poligonal a la línea que constituye el perímetro de la superficie sobre la cual se va a hacer el levantamiento topográfico. Sobre este perímetro se instala la estación total para realizar las mediciones necesarias del levantamiento. Con objeto de minimizar los posibles errores cometidos en los estacionamientos de la estación total en este perímetro, desde los cuales se radiarán los puntos más significativos que definen la geometría del terreno, incluyendo alturas, se procede a la ejecución y señalización correspondiente de una poligonal encuadrada y cerrada.

- Radiación.

Junto a la fase del establecimiento de una poligonal, este es el segundo proceso más importante del levantamiento topográfico. En este caso, ocupando todas aquellas

estaciones o bases de replanteo (materializadas en la poligonal anteriormente establecida) como sean necesarias para cubrir toda la superficie de la zona a estudiar, se procede a la radiación de puntos y líneas de quiebro del terreno significativas de tal manera que se obtenga la nube de puntos representativa de las cotas más relevantes para obtener un MDT preciso.

El adiestramiento de esta unidad del Batallón es completo, ya que han realizado este trabajo en muchos proyectos, con lo que se puede considerar que se trata de un método totalmente optimizado por la oficina técnica del batallón de caminos. En otras palabras, mediante la utilización de la instrumentación actual, la estación total, y los protocolos que ésta implica, no se pueden disminuir el número de horas empleadas.

3. Tratamiento de los datos obtenidos.

Concluido el levantamiento topográfico físico, se comienza con el tratamiento de la información recabada en gabinete. El proceso comienza con la descarga desde la estación total de la nube de puntos obtenida. Cada uno de estos puntos contiene información de la altura del terreno y son utilizados para elaborar el MDT de la superficie estudiada. Este trabajo requiere de la utilización de un software específico para la extracción de los datos de la estación total que, en el caso del Batallón de Caminos, es el Leica Geo Office (http://www.leica-geosystems.es/es/Leica-Geo-Office_4611.htm). El segundo paso es la transformación del MDT obtenido al sistema de referencia elegido (normalmente el ETRS89 Zona 30, Código EPSG -*European Petroleum Survey Group*-25830) utilizando para ello el software AutoCAD Civil 3D. Tras estos dos pasos queda ya listo el MDT que servirá como base para la realización del proyecto constructivo.

Esta fase conlleva, según la experiencia previa en la oficina técnica, dos jornadas de trabajo con los medios disponibles, debido al gran peso de los archivos generados en las fases anteriores. De esta manera, el recurso crítico de esta fase es el software disponible para el tratamiento de los datos.



Figura 3 - Captura de imagen en la cual se observa el tratamiento de la nube de puntos obtenida.

Fuente: (Oficina Técnica BCAM I/11, 2016b).

Así, en resumen, un levantamiento topográfico de una superficie realizado por el Batallón de Caminos del REI 11 tiene actualmente un coste temporal mínimo 4 jornadas de trabajo, siendo este mayor cuanto más grande son las dimensiones de la superficie. Ofrece una precisión del orden de 4-8 mm en la dimensión horizontal (coordenadas X e Y) y en la dimensión vertical de 6-8 mm (coordenadas Z), pudiendo este aumentar según el manejo del operador. La fase más crítica en este proceso es el propio levantamiento topográfico, ya que la eficiencia depende de la zona a estudiar.

2.2. Análisis de los RPAS existentes en el mercado para la realización de levantamientos topográficos

2.2.1. Sistemas RPAS: partes constituyentes

En el imaginario colectivo, un RPAS se identifica solamente con una plataforma aérea de pequeño tamaño. Sin embargo, los sistemas RPAS, aunque sean completamente autónomos, es decir, que tengan una ruta determinada y no sean controlados manualmente, están formados por dos segmentos claramente diferenciados: el segmento aéreo y el segmento terrestre, estando ambos siempre enlazados mediante sistemas de comunicaciones, más o menos complejo (Sánchez Gómez, 2014). Así, un sistema RPAS adecuado para realizar levantamientos topográficos que satisfaga las necesidades requeridas por el Batallón de Caminos del REI 11 estará compuesto necesariamente por:

1. Segmento aéreo.

El segmento aéreo atiende a la adquisición de la información asociada a la misión y los sensores presentes en la plataforma aérea que permiten conocer la altitud y posición del vehículo de forma muy precisa en cada momento. Este segmento, a su vez, está formado por los cuatro elementos:

- **Plataforma de vuelo.** Que puede ser de muy diferentes tipos (por ejemplo: aeroplano, parapente, helicóptero, dirigible, quad-rotors, etc.)
- **Carga útil.** Que puede estar constituida por cuatro partes: sensores, relés de comunicaciones, armas y/o carga.
- **Sistema de comunicación que enlaza con el segmento de tierra.** Este sistema es el responsable de emitir las señales que sirven para el control del vuelo del RPAS. Normalmente son transmitidas a través de canales de banda estrecha (118-136,975 Mhz).
- **Sistema de comunicación para el control de la carga útil (*payload*) y de la información obtenida por los RPAS que son el objetivo de la misión.** Esta información se transmite por canales de banda ancha (2,4-5,8Ghz).



Figura 4 - Ejemplo de una plataforma quad-rotor de un RPAS.
Fuente: (Zcopters , 2016).

2. Segmento terrestre.

Este segmento se encarga de la definición y la supervisión del desarrollo de la misión. Está constituido por cinco elementos¹:

- **Equipo de comunicaciones del control de vuelo.** Proporciona desde tierra el control de la plataforma aérea de la misma manera que en el segmento aéreo, es decir, utilizando señales a través de canales de banda estrecha (118-136,975 Mhz).
- **Equipo de explotación.** Se encarga del control de las comunicaciones para el control de la carga útil de la plataforma aérea mediante la utilización de los canales de banda ancha anteriormente mencionados.
- **Medios de lanzamiento y recuperación de la plataforma para volver a ser reutilizada.** Estos medios dependen del tipo de plataforma utilizada. Existen varios métodos de lanzamiento y despegue de la plataforma como, por ejemplo, mediante ballestas de gomas, despegue a través de un aeródromo o, simplemente lanzados con la mano. En lo que refiere al sistema de aterrizaje, destacan los de redes de captura, aterrizaje en aeródromo o el aterrizaje a través de un paracaídas.
- **Elementos de apoyo.** Son los elementos necesarios para el despliegue, transporte y mantenimiento del segmento aéreo del RPAS. Dependiendo de la clase del RPAS, los elementos de apoyo pueden ser muy reducidos o llegar a tener una entidad similar a los necesarios para aeronaves tripuladas.



Figura 5 - Elementos terrestres de control del RPAS.

Fuente: (Oficina Técnica BCAM I/11, 2016b).

3. Enlace de datos.

Son los medios para comunicar el segmento aéreo y terrestre. Estos enlaces deben mantenerse de forma continua mientras duran los procesos de vuelo y de transmisión de información entre ambos segmentos. Aparecen dos tipos de comunicaciones: (i) comunicaciones dentro del alcance visual del operador (*Line Of Sight, LOS*) y/o (ii) comunicaciones más allá del horizonte visual (*Beyond Line Of Sight, BLOS*).

Por último, dejando de un lado los componentes de un sistema RPAS, hay que tener en cuenta que es necesario un software específico para el análisis de los datos topográficos recogidos por el sensor específico de la carga útil del segmento aéreo. En este sentido hay que destacar que se trata de un software de altas prestaciones que tiene que ser capaz de

¹ El equipo de comunicaciones y el equipo de explotación suelen estar ejecutados normalmente por distintos componentes, pero cuando el sistema RPAS es de pequeña entidad, ambos pueden aparecer fusionados en uno sólo.

trabajar con agilidad con un conjunto de archivos importantes que se caracterizan por su elevado tamaño (30 MB, aproximadamente, cada una de las imágenes adquiridas, siendo el número de estas directamente proporcional a la superficie estudiada).

2.2.2. Clasificación RPAS

A la hora de establecer una clasificación de los RPAS existentes en la actualidad en el mercado es posible atender a diversos criterios. En esta memoria se utiliza uno de los criterios más comunes, el tipo de aeronave del RPAS según el tipo de despegue, y la que utiliza la “Organización del Tratado del Atlántico Norte” (OTAN), alianza militar a la que pertenece España.

1. Clasificación según el tipo de despegue.

Usando la terminología propia dentro de las Fuerzas Armadas se distinguen dos tipos de RPAS según este criterio:

- **RPAS de ala rotativa.** Son los que tienen un despegue de tipo vertical. Estos dispositivos tienen una gran maniobrabilidad y precisión de vuelo, por lo que ofrecen la posibilidad de observar un punto fijo del terreno de forma continua o a muy baja velocidad.
- **Ala fija.** Son los que tienen un despegue de tipo rectilíneo o diagonal (no vertical). Tienen mayor autonomía, mayor velocidad, menor huella sonora y mayor rango climático que los de ala rotativa, pero menor maniobrabilidad.

2. Clasificación OTAN.

En esta clasificación, que rige para todos los países pertenecientes a esta alianza militar, el criterio principal utilizado es el peso máximo en el despegue (*Maximum Take Off Weight, MTOW*). Este criterio permite distinguir un total de tres clases: Clase I (menos de 150 kg), Clase II (entre 150 y 600 kg) y Clase III (más de 600 kg). Otros criterios complementarios pueden observarse en la Tabla 1.

<i>Class</i>	<i>Category</i>	<i>Normal employment</i>	<i>Normal Operating Altitude</i>	<i>Normal Mission Radius</i>	<i>Primary Supported Commander</i>
CLASS I (Less than 150kg)	<i>SMALL > 20 Kg</i>	Tactical Unit (Employs launch system)	Up to 5.000 ft AGL	50 Km (LOS)	BN/Regt. BG
	<i>MINI 2-20 Kg</i>	Tactical Sub-unit (Manual launch)	Up to 3.000 ft AGL	25 Km (LOS)	Coy/Sqn.
	<i>MICRO < 66 KJ</i>	Tactical PI. Sect. Individual (Single operator)	Up to 200 ft AGL	5 Km (LOS)	PI. Sect.
CLASS II (150 Kg to 600 Kg)	<i>TACTICAL</i>	Tactical Formation	Up to 10.000 ft AGL	200 Km (LOS)	Bde Comd
CLASS III (More than 600 Kg)	<i>STRIKE/COMBAT</i>	Strategic/National	Up to 65.000 ft	Unlimited (BLOS)	Theater COM
	<i>HALE</i>	Strategic/National	Up to 65.000 ft	Unlimited (BLOS)	Theater COM
	<i>MALE</i>	Operational/Theater	Up to 45.000 ft MSL	Unlimited (BLOS)	JTF COM

Tabla 1 – Clasificación según la OTAN.

Fuente: (Campus Aeronáutico de Maticán, 2014).

Tener en cuenta estas dos clasificaciones permite mejorar los criterios de búsqueda para determinar el tipo de RPAS más adecuado para la realización de los levantamientos topográficos que pretende llevar a cabo el Batallón de Caminos del REI 11 abordado en el siguiente apartado, ya que en estas clasificaciones están recogidas en las especificaciones técnicas de los RPAS o en la descripción de sus funcionalidades.

2.2.3. RPAS adecuados para realizar levantamientos topográficos en el seno del Batallón de Caminos del REI 11

Como Como se ha indicado previamente, la diversidad de RPAS existente en el mercado es muy alta. Por ello, al objeto de hacer una primera selección, fue necesario identificar una serie de requisitos o aspectos técnicos esenciales que un RPAS debe de cumplir para ser considerado útil de cara a la realización de los levantamientos topográficos a los que normalmente se enfrenta el Batallón de Caminos del REI 11. La siguiente tabla recoge los requisitos identificados por oficiales del Batallón de Caminos del REI 11 (Cap. Barbancho, Cap. Mengod, Cap. Luna y Tte. Tappiz), del Ejército del Aire destinados en la Base Aérea de Maticán encuadrados en la compañía de RPAS (Cap. Batanero) y por el que suscribe esta memoria (tras realizar una intensa lectura de páginas Web relativas a RPAS para levantamientos topográficos).

<i>Requisitos</i>	<i>Descripción</i>
Autonomía	Capacidad para mantenerse en vuelo un tiempo razonable que le permita obtener la información deseada. Como tiempo de vuelo razonable se estima entre un mínimo de veinte minutos hasta un máximo de, aproximadamente, una hora.
Alcance	Se requiere un alcance mínimo horizontal de 1 Km y vertical de 100 m.
Capacidad de vuelo	Aunque no es imprescindible, se considera deseable que tenga la capacidad de realizar un tipo de vuelo estacionario, es decir mantenerse estático en su lugar, guardando tanto la altitud como la posición, a la espera de nuevas instrucciones.
Velocidad	Debe de tener la capacidad de mantener una velocidad de crucero adecuada (10-35 Km/h).
Peso	Su peso debe ser menor de 25 Kg (Clase I de la OTAN).
Limitaciones por condiciones atmosféricas	El RPAS debe ser resistente a las condiciones atmosféricas: viento, lluvia y un rango de temperaturas de entre -20°C y 40°C.
Carga útil	Debe ser capaz de llevar distintos tipos de cargas intercambiables y modulables, sensores térmicos, equipos de posicionamiento global, detectores de distancias, cámaras fotográficas, infrarrojos pequeños radares, sistema relé de comunicaciones. Con esto se estima que debe tener capacidad para levantar un mínimo de 500 g de carga útil y un máximo de 2,5 kg.
Software	Debe de disponer de software específico para el tratamiento de datos topográficos, datos de sensores y el tratamiento imágenes obtenidos en vuelo.
Explotación inmediata de la información	Debe permitir la explotación de la información obtenida de forma casi inmediata.
Mantenimiento	Debe de estar dotado de repuestos sencillos de reponer y económicos.

Tabla 2 - Especificaciones técnicas de los RPAS.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinados estos aspectos, se realizó una encuesta dirigida al personal especialista en la realización de levantamientos topográficos que forma parte del Batallón de Caminos del REI 11 (Ver Apéndice A). Se realizó un muestreo estratificado por empleo, de tal manera que el número de oficiales y suboficiales encuestados fuera mayor que el de personal de tropa. Mediante esta medida se pretendió que los resultados no quedaran sesgados por la opinión de los componentes del REI 11 con menor formación y con menor capacidad de decisión. El número total de personas que respondió a la encuesta ascendió a 14 (0,05% del personal que compone el Batallón de Caminos del REI 11).

La encuesta se dividió en dos partes. La primera recoge una serie de preguntas de tipo abierto que permiten conocer aspectos generales sobre si se considera, o no, que los RPAS serían útiles para los levantamientos topográficos que realiza la unidad. En la segunda, se pide que valoren, con una escala cuantitativa del 1 al 5, los diferentes aspectos técnicos destacados anteriormente que definen a distintos tipos de RPAS para que este tipo de instrumentación sea considerada útil de cara a la realización de los levantamientos.

Los resultados indican que los RPAS son percibidos como una herramienta útil para la realización de levantamientos topográficos porque proporciona mayor seguridad y rapidez en los trabajos, además de que permite un levantamiento topográfico más exacto y preciso. Sin embargo, existía un desconocimiento a cerca del tipo de RPAS más adecuado para estas tareas y, sobre todo, a cerca de la normativa legal que afecta a la utilización de este tipo de instrumentación. En cuanto a los aspectos técnicos más relevantes, la figura 6 muestra como la autonomía, el alcance y el software son los más valorados, recibiendo los tres una valoración por encima de 4 sobre 5. Otros aspectos destacados son la capacidad de vuelo, las limitaciones por condiciones atmosféricas y el mantenimiento con una valoración entre 3-4. En cuanto los requisitos menos importantes o trascendentes destacan la velocidad, el peso, la carga útil y la explotación inmediata de la información con valores inferiores a 3.

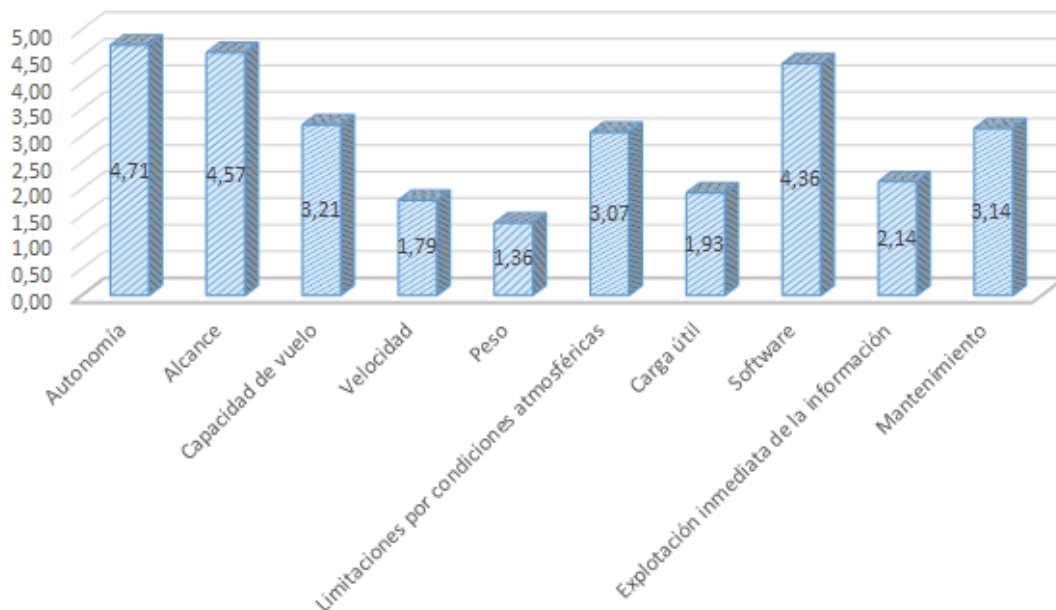


Figura 6 - Gráfico con los resultados obtenidos en la encuesta (Ver Apéndice A) de la valoración de “Aspectos importantes de un RPAS” (de 1-poco importante- a 5 –muy importante).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la valoración de estos aspectos, se realizó una intensiva búsqueda en Internet y el contacto directo con empresas dedicadas a la fabricación y comercialización RPAS para seleccionar los modelos más adecuados. A continuación, se exponen los RPAS seleccionados distinguiendo si se tratan de modelos de ala rotativa y fija y sus principales características en función de los requisitos exigidos a la hora de realizar un levantamiento topográfico.

1. Ala rotativa.





RPAS ALA ROTATIVA					
		RPAS FV8	RPAS Droning DE650-T	Aibot x6	RPAS multirrotor V2
					
Especificaciones técnicas	Autonomía	60 minutos	50 minutos	25 minutos	15 minutos
	Alcance (distancia horizontal / distancia vertical)	4 Km / 120 m	3 Km / 300 m	3 Km / 500 m	1 Km / 120 m
	Capacidad de vuelo / despegue-aterrizaje	Vuelo estacionario (giroestabilización) / Despegue y aterrizaje automático.	Vuelo estacionario (giroestabilización) / Despegue y aterrizaje automático.	Vuelo estacionario (giroestabilización) / Despegue y aterrizaje automático.	Vuelo estacionario (giroestabilización) / No despegue y aterrizaje automático.
	Velocidad	60 Km/h	20 Km/h	60 Km/h	54 Km/h
	Peso (MTOW)	10 Kg	25 Kg	5 Kg	1,7 Kg
	Limitaciones por condiciones atmosféricas	- Máximo de velocidad del viento: 35 km/h. - Rango de temperatura: entre -10 y 40°C. - Operable con lluvia.	- Máximo de velocidad del viento: 20 km/h. - Rango de temperatura: entre 0 y 40°C. - Operable con lluvia.	- Máximo de velocidad del viento: 20 km/h. - Rango de temperatura: entre -20 y 40°C. - Operable con lluvia.	- Máximo de velocidad del viento: 20 km/h. - Rango de temperatura: entre 0 y 40°C. - No operable con lluvia.
	Carga útil	4 kg	2,5 Kg	2 Kg	0,5 Kg
	Software	Licencia profesional PIX4D mapperPro.	DROBIT - RTK/PPK Precise GNSS Solution.	Agisoft photoscan profesional.	Digital Surface Maps.
	Explotación inmediata de la información	Si.	Si.	Si.	Si.
	Mantenimiento	Garantía de motores de por vida.	Garantía de motores de por vida.	Garantía de 4 años. Precio elevado de los motores.	Garantía de 2 años. Precio elevado de los motores.
Empresa		ATYGES	GEOBIT	AIBOTIX	ZCOPTERS
Precio		19.900 €	22.050 €	29.537 €	12.190 €

Tabla 3 – RPAS multirrotor adecuados para levantamientos topográficos.

Fuente: Elaboración propia.

2. Ala fija.



RPAS ALA FIJA			
		RPAS FVI	RPAS ZCOPTERS
			
Especificaciones técnicas	Autonomía	180 minutos	45 minutos
	Alcance (distancia horizontal / distancia vertical)	3 Km / 120 m	1 Km / 120 m
	Capacidad de vuelo / despegue-aterrizaje	No permite el vuelo estacionario. No requiere de pista de aterrizaje y ofrece despegue y aterrizaje automáticos.	No permite el vuelo estacionario. Requiere de pista de aterrizaje de 100 m.
	Velocidad	20 Km/h	15 Km/h
	Peso (MTOW)	4,2 Kg	3 Kg
	Limitaciones por condiciones atmosféricas	- Máximo de velocidad del viento: 10 km/h. - Rango de temperatura: entre -10 y 40°C. - Operable con lluvia.	- Máximo de velocidad del viento: 10 km/h. - Rango de temperatura: entre 0 y 40°C. - No operable con lluvia.
	Carga útil	2 Kg	0,5 Kg
	Software	Licencia profesional PIX4D mapperPro.	Digital Surface Maps.
	Explotación inmediata de la información	Si.	Si.
	Mantenimiento	Garantía de motores de por vida.	Garantía de 2 años. Precio elevado de los motores.
	Empresa	ATYGES	ZCOPTERS
	Precio	21.500 €	14.750 €

Tabla 4 - RPAS ala fija adecuados para levantamientos topográficos.

Fuente: Elaboración propia.

La característica que comparten ambos tipos de RPAS es la exactitud en la medición de los datos. Todos los RPAS seleccionados ofrecen una exactitud elevada, con un margen de error de 2-4 mm en la dimensión horizontal (coordenadas X e Y) y de 2-6 mm en la dimensión vertical (coordenada Z).

El uso de cualquiera de estos RPAS seleccionados conllevaría un cambio cuantitativo en el tiempo empleado, puesto que con este procedimiento se aumentan los ritmos de trabajo. El tiempo empleado es inherente a cada tipo de RPAS, pero todos están en tiempos similares. Para medir el tiempo empleado en el trabajo de campo es importante tener en cuenta la preparación inicial (instalación de la base para el RTK -*Real Time Kinematic*- y montaje o preparar el RPAS) y el uso del RPAS junto con el cambio de batería. Posteriormente hay que medir el tiempo empleado en el tratamiento de los datos recogidos. Por ello, se ha realizado un estudio de tiempos junto a tres expertos, el CAP. Batanero, oficial del Ejército del Aire destinado en la Base Aérea de Maticán y encuadrado en la Compañía de RPAS, D. Ángel Herranz, de la empresa '*Leica Geosystems*' y personal de la empresa '*GONOS TOPOGRAFÍA*'. Los tiempos de uso de un sistema RPAS se dividen en tres partes diferenciadas:

I. Tiempo de montaje y preparación del sistema.

Depende del modelo escogido, pero el tiempo empleado en esta fase es mínimo. Se trata de montar los implementos en la plataforma y cargar el vuelo deseado, lo que se estima en unos 5-10 minutos.

II. Tiempo de levantamiento de la zona deseada.

Esta fase queda sujeta al tiempo de duración de las baterías. Teniendo en cuenta la altura de vuelo, entre 100-120 m, tipo de cámara implementada y tiempo de subida y bajada para el cambio de baterías, se estima que en 20-25 minutos se hace el vuelo de un terreno de extensión de 15 hectáreas.

III. Tratamiento de los datos obtenidos.

Es muy variable, dado que depende de factores como el número de fotos a procesar, la densidad de la nube de puntos que se quiere obtener y el tipo de ordenador que se emplea, en este aspecto no existe gran diferencia entre los distintos modelos contemplados, indicando las casas comerciales que el tiempo medio de procesado para un área de 15 hectáreas se situaría en torno a las tres horas.

Tras el estudio realizado, se puede concluir que la utilización de RPAS mejoraría los levantamientos topográficos realizados en la actualidad por el Batallón de Caminos del REI 11, tanto en términos de precisión (los RPAS considerados alcanzan una precisión de 2-4 mm en la distancia horizontal y 2-6 mm en la distancia vertical frente a los 4-8 mm y 6-8 mm, respectivamente, con los medios tradicionales), como en términos de tiempo (6 horas con medios RPAS frente a las 26 horas con los medios actuales). Además, hay que añadir que la utilización de estos medios RPAS implica que el personal no sea expuesto en zonas peligrosas o no reconocidas, ya sea por la posible existencia de enemigo o por los accidentes del terreno. Estos dos apuntes son importantes para los componentes del Batallón de Caminos del REI 11 tal y como ha quedado reflejado en la encuesta realizada.

Finalmente, para la elección de uno de los RPAS seleccionados previamente (Tabla 3 y 4) se utilizará el método SCORING (Hugo Roche & Constantino Vejo, 2005). Este método sirve para identificar la alternativa preferible en un problema de decisión

multicriterio como el que aquí se trata basándose en la información recabada de expertos. En este caso, esta información proviene de la encuesta realizada al personal del Batallón de Caminos del REI 11 (Apéndice A) y del estudio y comparación de las especificaciones técnicas de cada tipo de RPAS seleccionado.

Etapas del método SCORING:

- 1) Objetivo del método: seleccionar el sistema RPAS más adecuado para realizar levantamientos topográficos en el seno del Batallón de Caminos del REI 11.
- 2) Alternativas: *RPAS FV8*, *RPAS Droning DE650-T*, *Aibot x6*, *RPAS multirrotor V2*, *RPAS FV1* y *RPAS ZCOPTERS ala fija*.
- 3) Criterios: *Autonomía*, *Alcance*, *Capacidad de vuelo*, *Velocidad*, *Peso*, *Limitaciones por condiciones atmosféricas*, *Carga útil*, *Software*, *Explotación inmediata de la información* y *Mantenimiento*.
- 4) Asignación de una **ponderación** para cada criterio mediante el empleo de una escala de 5 puntos ((basada, con la excepción del precio, en las puntuaciones obtenidas en la encuesta, utilizando la mediana, ver Apéndice A), donde:

1= Muy poco importante; 2= Poco importante; 3= Importancia media; 4= Algo importante; 5= Muy importante.

Criterios	Ponderación W_i
<i>Autonomía</i>	5
<i>Alcance</i>	5
<i>Capacidad de vuelo</i>	3
<i>Velocidad</i>	2
<i>Peso</i>	1
<i>Limitaciones por condiciones atmosféricas</i>	3
<i>Carga útil</i>	2
<i>Software</i>	4
<i>Explotación inmediata de la información</i>	2
<i>Mantenimiento</i>	3
<i>Precio</i>	4

Tabla 5 - Ponderación de las especificaciones técnicas.

Fuente: Elaboración propia.

- 5) Establecer el rating de satisfacción para cada **alternativa** empleando una escala de 9 puntos, donde:

1= extra bajo; 2= muy bajo; 3=bajo; 4=poco bajo; 5= medio; 6= poco alto; 7= alto; 8= muy alto; 9= extra alto.

Criterios	FV8 r_{11}	Droning DE650-T r_{12}	Aibot x6 r_{13}	Multirrotor V2 r_{14}	FV1 r_{15}	ZCOPTERS ala fija r_{16}
Autonomía	7	6	3	2	9	6
Alcance	9	8	8	4	8	4
Capacidad de vuelo	9	8	8	6	3	2
Velocidad	8	5	8	7	5	4
Peso	6	2	7	9	7	8
Limitaciones por condiciones atmosféricas	8	7	8	7	6	5
Carga útil	8	6	5	3	5	3
Software	7	8	7	6	7	6
Explotación inmediata de la información	8	8	8	8	8	8
Mantenimiento	8	8	7	6	8	6
Precio	7	6	5	8	6	8

Tabla 6 - Ponderación de los modelos seleccionados.
Fuente: Elaboración propia.

6) Calcular la **Ponderación para cada Alternativa:**

Criterios	Ponderación W_i	FV8 r_{11}	Droning DE650-T r_{12}	Aibot x6 r_{13}	Multirrotor V2 r_{14}	FV1 r_{15}	ZCOPTERS ala fija r_{16}
Autonomía	5	7	6	3	2	9	6
Alcance	5	9	8	8	4	8	4
Capacidad de vuelo	3	9	8	8	6	3	2
Velocidad	2	8	5	8	7	5	4
Peso	1	6	2	7	9	7	8
Limitaciones por condiciones atmosféricas	3	8	7	8	7	6	5
Carga útil	2	8	6	5	3	5	3
Software	4	7	8	7	6	7	6
Explotación inmediata de la información	2	8	8	8	8	8	8
Mantenimiento	3	8	8	7	6	8	6
Precio	4	7	6	5	8	6	8
SCORE S_j		265	235	221	188	231	183

Tabla 7 - Ponderación de cada Alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

- 7) **Resultado:** el sistema RPAS FV8 obtiene la puntuación más alta (score) ($S_j=265$) con lo que se erige en la mejor opción para el Batallón de Caminos del REI 11.

En resumen, todos los modelos analizados son válidos dado que cubren las necesidades del Batallón de Caminos del REI 11. Según el método SCORING, el sistema RPAS óptimo es el modelo FV8, de la empresa ATYGES.

2.3. Normativa legal aplicable al uso de RPAS para levantamientos topográficos.

Como se ha indicado en párrafos anteriores, el sector de los RPAS está en continuo crecimiento. Por ello, ha surgido la necesidad de establecer un marco jurídico que permita el desarrollo en condiciones de seguridad de este nuevo sector, tecnológicamente puntero y emergente. Hoy en día el uso de esta instrumentación está sujeto a una legislación y normativa muy restrictiva.

La encargada de establecer las disposiciones y legislaciones internacionales necesarias para garantizar la seguridad, regularidad, eficacia, protección y economía del transporte aéreo internacional es la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que, actualmente está compuesta por 191 estados. Esta organización publica las denominadas Normas y Métodos Recomendados que tienen como misión establecer la mayor uniformidad y estandarización en las normas y procedimientos propios en cada uno de los países miembros con el fin de facilitar y mejorar la navegación aérea. A la hora de elaborar estas Normas y Métodos se dividió el mundo en ocho zonas geográficas para establecer una normativa aeronáutica común en cada zona. Estas ocho zonas son África (AFI), Atlántico Norte (NAT), Asia - Pacífico (PAC), Caribe (CAR), América del Norte (NAM), Europa (EUR), América del Sur (SAM), Oriente Medio (MID) (ver Figura 7).

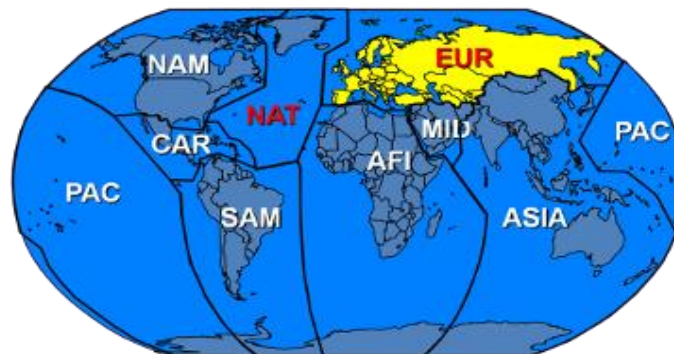


Figura 7 - Zonas geográficas.

Fuente: (Campus Aeronáutico de Matacán, 2014).

En España, la autoridad aeronáutica encargada de hacer velar las disposiciones de la OACI y de desarrollar normativa a nivel del Estado es la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA). Así, este organismo vela para que se cumplan las normas de aviación civil en el conjunto de la actividad aeronáutica de España. Además, tiene potestad sancionadora ante las infracciones de las normas de aviación civil. La AESA se rige por la LEY 28/2006, del 18 de Julio, de Agencias Estatales para la mejora de los servicios públicos; y por el Real Decreto 184/2008, del 8 de febrero, por el que se aprueba el Estatuto de AESA. Este organismo asume competencias sobre cuestiones que aparecen recogidas en la tabla 8.

Certificación	Mantenimiento	Operaciones	Cielo Único
Licencias	Gestión Económico Financiera	Trabajos Aéreos	Espacio Aéreo
Registro de Matricula de Aeronaves	Contratación	Formación	Informática
Aviación Deportiva	Aeródromos	Navegación Aérea	Combustible
Medicina Aeronáutica	Facilitación	Carga Aérea	Integración territorial
Asesoría Jurídica	Servidumbres Aeronáuticas	Recursos Humanos	Seguridad contra actos de Interferencia Ilícita
Enseñanzas Aeronáuticas	Interoperabilidad	Programa GNSS	Operacional

Tabla 8 - Competencias AESA.

Fuente: (Campus Aeronáutico de Matacán, 2014).

La Sección 6ª de la Ley 18/2014, de 15 de octubre, recoge la normativa a la que atenerse para operar con aeronaves civiles pilotadas por control remoto en territorio nacional. Para que no hay dudas sobre si un RPAS es una aeronave o no, en esa misma Ley, en la Sección 7ª, se modifica la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, para incluir como aeronave *“cualquier máquina pilotada por control remoto que pueda sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra”*.

Con esto, los RPAS considerados en este TFG deben estar sujetos en territorio nacional a lo dispuesto en la citada Sección 6ª de la Ley 18/2014, de 15 de octubre.

Tal y como indica la Ley 18/2014, para operar con un RPAS en territorio nacional es necesario contar con una licencia de piloto o, en el caso de aeronaves de masa máxima al despegue no superior a 25 kg: (i) disponer con una certificado básico para el pilotaje de aeronaves civiles pilotadas por control remoto para volar dentro del alcance visual del piloto o (ii) de certificado avanzado para el pilotaje de aeronaves civiles pilotadas por control remoto para volar más allá del alcance visual del piloto. Restringiéndonos al ámbito de las Fuerzas Armadas (FAS), existen dos tipos de licencias, que están relacionadas con la clasificación de RPAS establecida por la OTAN señalada en el apartado 2.2.2. (Tabla 1). Ambas licencias se obtienen mediante la realización de sendos cursos que se imparten en la Base Aérea de Matacán, sita en Salamanca, y que son impartidos por parte de personal del Ejército del Aire:

- **Curso TIPO I:** este curso tiene de duración dos semanas. Sirve para ser operador de RPAS de Clase OTAN I, es decir, que no supere los 150 kg de MTOW y su alcance horizontal sea inferior a los 5 km y el alcance vertical sea de 120 metros.
- **Curso TIPO II:** este curso es de duración variable dependiendo si previamente se es piloto de aeronaves (4 semanas) o si no (entre 7-11 semanas, este umbral depende de la facilidad que tenga el personal para el aprendizaje de la materia).

La superación de este curso otorga la capacidad para manejar RPAS de Clase OTAN II y III.

Además de los cursos, el operador tiene que ser mayor de edad y tener un certificado médico que se ajuste a lo previsto en el apartado MED.B.095 del anexo IV, Parte MED, del Reglamento (UE) n° 1178/2011, de la Comisión, del 3 de noviembre de 2011.

El último factor determinante en cuanto a normativa legal en territorio nacional para la utilización de un RPAS al objeto de realizar un levantamiento topográfico es la regulación del espacio aéreo. Para operar con RPAS hay que tener en cuenta que no se debe entorpecer las rutas controladas por los controladores aéreos que siguen las grandes aeronaves. Por este motivo, para operar con RPAS es necesario enviar a la AESA con 15 días de antelación un estudio de viabilidad del vuelo RPAS que tiene que ser hecho por la propia unidad encargada de gestionarlo. En el Apéndice B se adjunta la plantilla de estudio de viabilidad con la que se trabaja en la citada Base Aérea de Maticán, por lo que se propone que ésta sea la utilizada por parte del Batallón de Caminos del REI 11 para realizar dicho estudio en territorio nacional en el caso de ser dotado con medios RPAS. En este estudio debe especificarse la zona de vuelo deseada, la proximidad a núcleos urbanos y la cercanía a aeropuertos. La zona deseada de vuelo debe contar con un espacio segregado, que es donde el RPAS realizará su ejercicio y con un espacio de seguridad de un radio de acción mayor al espacio segregado denominado ZOTER (Zona Temporalmente Restringida para la Operación de RPAS). Después de este proceso, la AESA está obligada a emitir un acuse de recibo en el plazo de cinco días a contar desde el día de recepción de la documentación. Así queda reservado el espacio aéreo para la utilización de los medios RPAS. Por último, cuando se produce la utilización efectiva del RPAS, hay que emitir una notificación denominada NOTAM (*Notice to Airman*), en la que se especifican los requisitos que aparecen en la Tabla 9. Esta notificación será recibida por la autoridad competente de la zona, es decir, el controlador aéreo encargado de dicho espacio aéreo.

Datos identificativos del operador, de las aeronaves que vayan a utilizarse en la operación y de los pilotos que la realicen.
Descripción de la caracterización de dichas aeronaves, incluyendo la definición de su configuración, características y prestaciones.
Tipo de trabajos técnicos o científicos que se vayan a desarrollar o en otro caso, los vuelos que se vayan a realizar y sus perfiles, así como de las características de la operación.
Las condiciones o limitaciones que se van a aplicar a la operación o vuelo para garantizar la seguridad.

Tabla 9 - NOTAM.
Fuente: Elaboración propia.

Este proceso, la reserva del espacio aéreo y la emisión de la NOTAM, está regulado por las Normas del Jefe de Estado Mayor (Ejército del Aire, 2011), teniendo por objeto garantizar la seguridad aérea y la coordinación civil y militar sobre las estructuras de espacio aéreo existentes.

Fuera del territorio nacional, es decir, en Zona de Operaciones, la utilización de un RPAS para la realización de un levantamiento topográfico debe respetar la normativa legal específica de ese país en cuestión, por lo que los controladores encargados en dicha Zona de Operaciones deben basar su plan de vuelo en concordancia con las leyes vigentes en ese Estado. Únicamente se podría operar sin atenerse a la normativa legal del país en caso de conflicto armado (Ejército del Aire, 2011).

2.4. Necesidades formativas para la integración efectiva de RPAS en el Batallón de Caminos del REI 11

Este apartado se divide en dos subapartados. En el primero de ellos se propone la creación de una nueva unidad autónoma encargada de la gestionar y operar con RPAS para la realización de levantamientos topográficos. En el segundo subapartado se especifica el tipo de adiestramiento que tendría que tener los integrantes de esta unidad.

2.4.1. Organización de unidades con medios RPAS

La distribución de los medios RPAS depende de la unidad en la que nos encontremos. En este caso la propuesta que se hace es teniendo en cuenta la realidad del REI 11, unidad donde se han realizado las PEXT.

Como se ha indicado en el objetivo, el uso de RPAS en este Regimiento estaría destinado a la obtención de levantamientos topográficos, por lo que quedarían asignados al Batallón de Caminos. Por ello, estos medios se integrarán en la oficina técnica del citado Batallón, encargada de dar el apoyo necesario a todas las compañías pertenecientes al mismo. El personal con el que cuenta esta oficina técnica es óptimo, ya que son cinco personas que pueden desempeñar perfectamente las funciones exigidas por estos medios y que, además, cuentan con los conocimientos básicos para la manipulación de los datos recogidos con RPAS.

De esta manera, se propone que la oficina técnica del Batallón se constituyera como una nueva unidad que se denominaría como “URPAS” (Unidad RPAS). Esta nueva unidad sería la encargada de la explotación y el manejo de los RPAS y funcionaría como unidad de apoyo de las compañías del Batallón. El equipo tendría capacidad para el análisis y la explotación de la información obtenida por los medios RPAS y también se ocuparía del mantenimiento y reparación de los estos medios. Esta unidad estaría formada por un jefe URPAS, un mecánico, un operador y dos analistas técnicos. Además, esta unidad estaría dotada de un RPAS, ya sea multirrotor o de ala fija (es decir, cualquiera de los modelos señalados anteriormente, si bien, como se ha indicado en el apartado 2.2.3., se propone la adquisición del modelo FV8).

- **Jefe URPAS:** como jefe del equipo, será un oficial preferentemente ingeniero politécnico. Encargado de mandar, dirigir y coordinar la unidad, como función esencial. Su misión principal es establecer el plan de vuelo del RPAS. Además, sería necesario que fuese titulado para operar medios RPAS, es decir, que obtuviese la licencia TIPO I.

- **Mecánico:** es el encargado del mantenimiento y las reparaciones de los sistemas RPAS. Se requieren conocimientos sobre electrónica, por lo que este puesto estaría cubierto por los especialistas existentes en esta materia en el Ejército de Tierra.
- **Operador:** su misión principal es el manejo de la aeronave para la obtención de la información requerida, en caso de ser autónoma, es el encargado de la supervisión de esta. Necesario ser titulado para poder operar con RPAS.
- **Analista técnico:** encargado de analizar y explotar la información obtenida por el sistema RPAS. Su misión es tratar los datos recogidos con el software necesario. Titulados para operar con medios RPAS, ya que tendrían otros cometidos como es el perfeccionamiento del manejo de RPAS y la investigación en nuevas tecnologías y aplicaciones a los RPAS para levantamientos topográficos.



Figura 8- Organización URPAS.

Fuente: Elaboración propia.

Este equipo tendría a su disposición, además del RPAS seleccionado, un hardware y un software que permita el rápido tratamiento de los datos. También tendría que contar con las herramientas necesarias para el mantenimiento de sus medios, así como la infraestructura necesaria para el almacenamiento de estos.

Para la formación de esta unidad pionera en las FAS, cabe destacar una serie de factores determinantes. En primer lugar, hay que tener en cuenta la formación del personal que es primordial para la utilización de medios RPAS. Para ello, los componentes indicados anteriormente deben superar el curso para la obtención de la licencia de operador de RPAS de clase I, dado que los sistemas considerados en la presente memoria no superan los 25 kg de MTOW. Para ello tendrían que desplazarse y permanecer durante dos semanas en la Base Aérea de Matacán, Base Aérea situada en Salamanca, que es donde se imparte este curso para componentes de las FAS. Allí disponen, como se observó en la visita realizada en las PEXT, de un simulador y de medios RPAS.

Otro aspecto determinante en la formación del personal es que deben ser capaces de tratar la información recabada, pero esta circunstancia no es problema en la oficina técnica del batallón de Caminos del REI 11 porque ya cuentan con personal capacitado que ha tratado con información de este tipo., siendo solamente necesario la adaptación a trabajar con el nuevo software.

Conseguido un adecuado adiestramiento del personal, la siguiente problemática que encontramos en la unidad es la adquisición del material. Este tema es fácil de resolver hoy en día, dado que no es problema encontrar distintas empresas que se encargan de este sector del mercado. Atendiendo a las necesidades del levantamiento topográfico se escogerá un tipo de RPAS de los recogidos en el apartado 2.2.3. (preferiblemente el seleccionado por el método de análisis multicriterio SCORING, el modelo FV8).

A tenor de lo reflejado en anteriores apartados, la formación de la nueva unidad URPAS se ve como altamente recomendable, ya que proporciona una mejora considerable en la eficiencia de los trabajos, aumentando el flujo de trabajo, consiguiendo mayor volumen de información y teniendo un mayor grado de cobertura, al acceder a zonas de difícil acceso. Además, ofrece mayor seguridad al personal en el trabajo, dado que no existe necesidad de exponer al personal en lugares arriesgados.

2.4.2. Adiestramiento e integración de estas URPAS en el Batallón de Caminos del REI 11

Para el adiestramiento del personal es necesario la consecución de unas herramientas básicas. Existen dos alternativas para la mejora del manejo de los RPAS, el uso de un sistema de simulación (Campus Aeronáutico de Matacán, 2014) o el empleo de modelos diseñados con fines didácticos, muy abundantes y económicos en el mercado.

- **Sistema de simulación.** Este sistema es difícil de encontrar, ya que en el mercado no es posible su adquisición. Sin embargo, el personal de la unidad URPAS podría utilizar el disponible en la Base Aérea de Matacán (visitado durante la realización de las PEXT). Al ser una base que está muy cerca del REI 11, podría estudiarse el desplazamiento del personal involucrado para el adiestramiento.



Figura 9 - Sistema de simulación RPAS.
Fuente: (Oficina Técnica BCAM I/11, 2016b).

- **Empleo de modelos didácticos.** Consiste en la compra de un modelo comercial barato que ofrezca, sacrificando la exactitud y precisión espacial, unos servicios similares al RPAS seleccionado en este TFG para el levantamiento topográfico como, por ejemplo el modelo Phantom 4 (Figura 10) (<http://www.dji.com/es/phantom-4>), que se sitúa en torno a los 1.000 €. De esta manera, el perfeccionamiento del manejo de RPAS solo dependería de la unidad, ya que contaría con un RPAS de instrucción.



Figura 10 - RPAS multirrotor PHANTOM 4.
Fuente: (Phantom 4, 2016).

Junto a esto, cabe destacar que existe un convenio con la Universidad de Salamanca (USAL) (BOD, 2014), por el cual se determina la colaboración entre la Universidad de Salamanca y el Ministerio de Defensa para la formación oficial de operadores RPAS, publicado el 23/10/2014 en el Boletín Oficial del Estado (BOE). Gracias a este acuerdo, existe un régimen general en el que la Universidad de Salamanca y el Ministerio de Defensa pueden trabajar conjuntamente en la ejecución de tareas vinculadas al desarrollo tecnológico, la investigación y todo lo relacionado el mundo de los vehículos aéreos no tripulados.

Por último, señalar que La unidad URPA propuesta necesitaría de una infraestructura que permitiera un mantenimiento y un adiestramiento eficaz y eficiente. Estas condiciones se pueden cumplir en las instalaciones de los Acuartelamientos, Establecimientos y Campos de Maniobras que dispone o usa el MING (Mando de Ingenieros) sin suponer un elevado gasto en inversión. Únicamente sería necesario acondicionar unas pequeñas instalaciones para dar cabida a un taller y almacén de repuestos, que se estiman en unos 30 m², y una sala de explotación de los datos recogidos y oficina de la unidad URPAS, estimada también en 30 m². Por tanto, su coste sería muy reducido en este aspecto.

2.5. Análisis de riesgos derivados del uso de RPAS

Tras realizar un análisis de los posibles riesgos que implicaría la implementación de estos medios en el Batallón de Caminos del REI 11 siguiendo la metodología explicada en (Acero, 2015) (Ver Apéndice C), se pueden destacar entre los más importantes:

- **Falta de instrucción del personal:** se debe a que el personal involucrado no cuenta con los suficientes recursos materiales y horas de instrucción para mejorar el manejo de los RPAS y perfeccionar el método de tratamiento de los datos obtenidos. De esta manera, la instrucción y la adquisición de los distintos medios de simulación citados anteriormente es necesaria para que la unidad automatice el proceso.
- **Sistemas RPAS averiados:** derivado de un uso no adecuado o de un mantenimiento no apropiado. Por ello, se debe concienciar al personal de la importancia del mantenimiento, ya que esta fase tiene la misma importancia que la instrucción con los medios. En este sentido será importante concienciar a los cuadros de mandos para destinar ciertas horas a esta actividad.

- **Espacio segregado:** es un punto muy importante en la implementación de los medios RPAS en cualquier unidad, y debe estar claro el procedimiento de solicitud de este. El proceso debe iniciarse quince días antes con el estudio de viabilidad de la zona a emplear, que será respondido por la autoridad competente en el plazo de cinco días desde su envío. Al ser aprobado este estudio la zona afectada quedará segregada permanentemente, pero con la particularidad de que cada vez que vaya a ser utilizada es necesario notificar su uso a través de un NOTAM. Si no se cumplen los plazos y el procedimiento señalado, no se podrá volar con el RPAS. Junto a esto, hay que añadir que el estudio viabilidad de la zona está íntimamente relacionado al RPAS empleado, por lo que si se vuela otro tipo de RPAS hay que emitir otro estudio. Es un punto crítico que se debe tener en cuenta en todo el proceso la posible implementación de los RPAS en las unidades.
- **Terreno con obstáculos:** este riesgo está relacionado con los distintos obstáculos artificiales o naturales que se pueden encontrar en las zonas a realizar el levantamiento topográfico. La maleza o los arbustos presentes pueden falsear los datos topográficos dado que este tipo de elementos se recoge en la nube de puntos obtenida que sirve para derivar el MDT buscado mediante el levantamiento topográfico. El evitar estos errores dependerá de la pericia del operador al interpretar los datos recogidos.
- **Elementos contra RPAS:** actualmente este ámbito no está muy desarrollado, pero existen medios que inutilizan sistemas RPAS. Pueden ser armas, inhibidores o redes que atrapan RPAS. Este riesgo en territorio nacional no supone amenaza, pero si en Zona de Operaciones en el extranjero, por lo que es un riesgo potencial en estas áreas.

Project Risk Matrix					Statistic	
Probability	3	0	0	0	Risk-Class	Nr
	2	0	0	0	High (red)	0
	1	4	3	3	High to Medium (orange)	0
		Low	Medium	High	Medium (yellow)	6
		Impact			Low (green)	4
					Total:	10

Figura 11 - Matriz de riesgos.
Fuente: (Acero, 2015).

Los riesgos encontrados han sido clasificados según su probabilidad de aparición y el impacto que tienen para ser abordados y encontrar una posible solución. Por ello, se

considera que en ningún caso serían un obstáculo en la utilización de los medios RPAS para realizar levantamientos topográficos.

2.6. Análisis de costes de la implantación de RPAS

En este punto del trabajo se tiene en cuenta el coste económico de la formación de la URPA propuesta, la adquisición del RPAS seleccionado por el método SCORING, el mantenimiento requerido y la infraestructura necesaria para almacenar este tipo de medios.

De esta manera, el mayor coste es el material para el tratamiento de los datos, es decir, el hardware y software necesarios para la consecución del objetivo final. El coste de la plataforma en sí no es elevado, siendo lo que incrementa el importe final los implementos y opciones que ofrecen las diferentes empresas.

Tras analizar estos costes reales (Tabla 10), hay que detallar las necesidades que estos medios requieren, como es una infraestructura adecuada para su propio mantenimiento, una oficina para el personal que trabaja en el tratamiento de los datos recogidos, los gastos de desplazamiento hasta la Base Aérea de Maticán y el alojamiento y la manutención durante el curso TIPO I. En este caso, el Batallón de Caminos del REI 11 cuenta con una oficina acondicionada para un adecuado tratamiento de la información de aproximadamente 30 m². Igualmente, dispone de una sala de esta misma extensión que se podría acondicionar para dar cabida a un pequeño taller de RPAS y su almacenamiento. Estas dos necesidades no requieren de un coste económico, salvo las herramientas necesarias para su mantenimiento.

COSTES	CANTIDAD
Gastos del viaje del personal que acuda a la Base Aérea de Maticán para realizar el curso de pilotos de tipo I.	$56,10\text{€} \times 3\text{personas} = 168,3\text{€} \times 2\text{días} = 336,6\text{€}$
Gasto de alojamiento del primer día.	$65,97 \times 3\text{personas} = 197,91\text{€}$ (Agencia de Halcón viajes)
Coste de alojamiento y manutención para oficiales y suboficiales.	$103,57\text{€} \times 55\% = 56,964\text{€} \times 10\text{días} = 569,635\text{€}$
Coste de alojamiento y manutención para tropa.	$77,13 \times 55\% = 42,422\text{€} \times 2\text{personas} = 84,843\text{€} \times 10\text{días} = 848,43\text{€}$
Sistema RPAS seleccionado. FV1.	19.900€
TOTAL	21.852,575€

Tabla 10 - Costes.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3. Conclusiones

3.1. Conclusiones del trabajo

En este TFG se ha analizado la viabilidad de implementar el uso de RPAS para la realización de levantamientos topográficos en el Batallón de Caminos del REI 11.

Como se ha mostrado a lo largo de esta memoria, los sistemas RPAS específicos para esta tarea presentan unas ventajas muy claras frente a los métodos utilizados actualmente por el citado Batallón en los siguientes aspectos:

- **Seguridad.** En el ámbito militar este aspecto es básico. En Zona de Operaciones fuera del territorio nacional, la utilización de RPAS consigue disminuir la exposición del personal en terrenos no reconocidos y peligrosos por la presencia de posibles enemigos. En territorio nacional, permiten trabajar sobre el terreno en zonas peligrosas como pueden ser zanjas, barrancos o pozos, tal y como lo están haciendo ya numerosas empresas civiles.
- **Ahorro de tiempo.** Gracias a estos medios RPAS se incrementa la productividad. Como se ha indicado en el apartado 2.2.3, el tiempo necesario para realizar el levantamiento topográfico es menor al requerido por los medios actuales que utiliza el Batallón de Caminos. Así, la eficiencia se ve incrementada, con lo que se permite realizar un mayor número de levantamientos en el cómputo total del año.
- **Exactitud y más información.** Un levantamiento tradicional se basa en el levantamiento de una serie de puntos que son limitados, mientras que mediante un RPAS se captura a la vez millones de puntos, a lo que hay que añadir la obtención de fotografías en color a gran resolución espacial que ayudan a conocer el terreno con gran precisión. Así, como se ha recogido en el apartado 2.2.3, la exactitud, tanto en la dimensión horizontal como en la vertical, es mayor mediante el uso de RPAS que con los métodos actuales del Batallón de Caminos del REI 11.
- **Mayor radio de cobertura.** Algunos puntos del terreno son sencillamente inaccesibles con los medios actuales, como son las zanjas, barrancos o pozos. Estos accidentes del terreno no son problema para los RPAS y, además, ofrecen un alcance mayor que los medios actuales: son adecuados para extensiones de terreno de mayor tamaño.

Por estos motivos y por el reducido coste de la implementación de esta tecnología, la propuesta de implementación de RPAS que ofrece este TFG se presenta como una solución factible a la cuestión planteada en el REI 11.

En cuanto al modelo de RPAS a adquirir entre todas las búsquedas realizadas y contactos con las distintas empresas de este sector, el más adecuado para realizar levantamientos topográficos atendiendo a todos los requisitos técnicos considerados es, tal y como indica el método de selección multicriterio SCORING, el FV8 de la empresa ATYGES.

3.2. Líneas a futuro

Los RPAS son una herramienta de futuro a corto, medio y largo plazo que está en continua evolución. De hecho, el Ministerio de Defensa tiene un programa en marcha, llamado “*Programa Rapaz*” (Calvo, 2016), en el cual la DGAM (Dirección General de Armamento y Material) evaluará los distintos RPAS para facilitar y complementar las actividades propias de las distintas unidades del Ejército de Tierra. Además, en este programa se analizan las posibilidades reales de que la industria nacional satisfaga estas necesidades con el objetivo de dar un impulso a ésta. Según las directrices de este programa, en un corto espacio de tiempo tendrán lugar las primeras jornadas para evaluar la posibilidad de adquisición de RPAS para levantamientos topográficos de pequeña y gran extensión.

De esta manera, el Ministerio de Defensa está evaluando de forma efectiva la posible integración de sistemas RPAS en el inventariable de las FAS, analizando la financiación de estos sistemas y las posibilidades que ofrecen estos medios. Teniendo en cuenta que el Ministerio de Defensa contempla esta solución, la motivación para la realización de este TFG ha sido muy grande, aportando un grano de arena a que los medios RPAS sean implementados en Unidades como el Batallón de Caminos del REI 11. El reto futuro será evaluar correctamente las capacidades tecnológicas de los modelos de RPAS para las tareas de levantamiento topográfico que, a buen seguro, irán apareciendo en el mercado.

Capítulo 4. Bibliografía

- Acero, R. (2015). *Plantilla para la cumplimentación del Análisis de Riesgos y plantilla para la cumplimentación de una Matriz de Impacto*. Material didáctico de la Asignatura “Oficina de Proyectos para la Ingeniería en Organización Industrial”, Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza.
- Aibotix. (2016). Obtenido de Aibotix: <https://www.aibotix.com/>
- ATYGES. (2016). Obtenido de ATYGES: <http://www.atyges.es/>
- AUTOCAD CIVIL 3D. (2016). Obtenido de AUTOCAD CIVIL 3D: <http://www.autodesk.es/products/autocad-civil-3d/overview>
- BOD. (2014). Convenio MINISDEF-USAL., (págs. 25697-25701).
- Calvo González-Regueral, C., & Herranz, F., & Calvo Aguilar, P. (2014). *De los UAV a los RPAS*. Febrero, Madrid: Edita EDS.
- Calvo, C. (06 de Junio de 2016). *Infodefensa*. Obtenido de Infodefensa: <http://www.infodefensa.com>
- Campus Aeronáutico de Matacán. (2014). *Curso Teórico Avanzado de RPAS/AESA*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Centro Nacional de Informacion Geográfica. (2016). *Centro de Descargas*. Obtenido de Centro de Descargas: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>
- Departamento Comunicación. (09 de Julio de 2015). *Aplicaciones y Operación con Drones/RPAS*. Obtenido de Aplicaciones y Operación con Drones/RPAS: <http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>
- Ejército del Aire. (2011). *NORMAS DEL JEFE DE ESTADO MAYOR DEL EJÉRCITO DEL AIRE, AUTORIDAD COMPETENTE MILITAR, SOBRE LA OPERACIÓN DE SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAS) MILITARES EN ESPACIO AÉREO SEGREGADO*.
- Fenercom. (2015). *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid.
- Geobit. (2016). Obtenido de Geobit: <https://www.geobit.es>
- Hugo Roche & Constantino Vejo. (2005). *Métodos Cuantitativos Aplicados a la Administración*. Madrid.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2011). *Batallón de Caminos*. Ministerio de Defensa (PD4-409).
- Marín, R. M. (2011). *TOPOGRAFÍA APLICADA*. Madrid: Bellisco.
- Ministerio de Fomento. (2014). *Agencia Estatal de Seguridad Aérea*. Obtenido de www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/normativa_aesa/default.aspx
- Montero, J. (18 de Marzo de 2016). *Todrone*. Obtenido de Todrone: <http://www.todrone.com/diferencias-hay-entre-rpa-uav-rpas-uas-dron/>

- Myriam. (03 de Abril de 2014). *Topografía/Cartografía*. Obtenido de Topografía/Cartografía:
<https://topografiacartografia.wordpress.com/2014/04/03/levantamiento-topografico-2/>
- Office, L. G. (2016). *Leica Geosystems*. Obtenido de Leica Geosystems:
http://www.leica-geosystems.es/es/Leica-Geo-Office_4611.htm
- Oficina Técnica BCAM I/11. (2016a). *Metodología levantamientos topográficos*. Salamanca: Ejército de Tierra.
- Oficina Técnica BCAM I/11. (2016b). *INFORME DRONES CLASIFICACION Y APLICACIONES*. Salamanca: Ejército de Tierra.
- Oñate, M. (2014). *Tipología de los RPAS*. AERPAS (Asociación Española de RPAS).
- Orden Ministerial 18-2012. (26 de Marzo de 2012). Establece la aptitud y crea el título de Operador de Sistemas Aéreos., (pág. 6860).
- Phantom 4. (2016). *Dji*. Obtenido de Dji: <http://www.dji.com/es>
- Sánchez Gómez, C. (. (2014). *SISTEMAS AÉREOS PILOTADOS REMOTAMENTE Y ESPACIO AÉREO*. Estado Mayor del Aire/División de planes.
- Santamaría Peña, J., & Sanz Méndez, T. (2005). *Manual de Prácticas de Topografía y Cartografía*. La Rioja: Universidad de la Rioja.
- Topografía, G. (05 de Diciembre de 2014). *Geomex topografía*. Obtenido de Geomex topografía: <http://www.geomextopografia.com/galeria-equipos-topograficos-gps-estacion-total-ecosonda/galeria-2/estacion-total-stonex-r2-2/>
- Zcopters . (2016). *Zcopters/Aerial Imaging*. Obtenido de Zcopters/Aerial Imaging: <http://zcopters.com>

Capítulo 5. Apéndices

Apéndice A. Encuesta realizada al personal del Batallón de Caminos del REI 11.

Apéndice B. Estudio de viabilidad.

Apéndice C. Evaluación de riesgos.

Apéndice A. Encuesta realizada en el Batallón de Caminos del REI 11

Este Apéndice se divide en tres apartados. En el primero, se da información sobre la muestra seleccionada. En el segundo se recoge íntegramente el formulario que se hizo llegar a los componentes de esa muestra. Finalmente, en el tercer apartado se exponen los resultados de la encuesta.

A.1. Muestra seleccionada.

La encuesta estaba dirigida al personal que forma parte del Batallón de Caminos del REI 11, como especialistas en la realización de levantamientos topográficos.

El muestreo se diseñó de tal manera que en los resultados de la encuesta pesará más la opinión de los oficiales y suboficiales, es decir, se realizó un muestreo estratificado por empleo de tal manera que el número de oficiales y suboficiales encuestados fuera mayor que el de personal de tropa. Mediante esta medida se pretendió que los resultados no quedaran sesgados por la opinión de los componentes del REI 11 con menor formación y con menor capacidad de decisión.

La siguiente tabla recoge información sobre la muestra seleccionada que finalmente respondió a la encuesta (n=14). En ella se indica, la categoría (oficial, suboficial y tropa), el porcentaje de encuestados con respecto al total existente dentro del REI 11 en esa categoría y, finalmente, el nombre de las personas que componen cada subgrupo muestral.

Empleo	Porcentaje con respecto al total de esa categoría en el Batallón de Caminos del REI 11	Número encuestados
Oficiales	25%	4
Suboficiales	20%	7
Tropa	0,01%	3

Tabla 11 - Porcentaje del personal encuestado.

Fuente: Elaboración propia.

A.2. Formulario de la encuesta.

A continuación, se recoge el formulario utilizado para realizar la encuesta. Este formulario se entregó en formato papel de forma individual tras una breve explicación oral del objetivo principal del TFG y del tipo de información que se pretendía conseguir con la encuesta.

Como se verá, tiene dos partes. La primera recoge una serie de preguntas de tipo abierto que permiten conocer aspectos generales sobre si se considera o no que los RPAS serían útiles para los levantamientos topográficos que realiza la unidad. En la segunda, se pide que valoren en una escala cuantitativa del 1 al 5 diferentes aspectos técnicos que definen a distintos tipos de RPAS que existen en el mercado para que este tipo de instrumentación sea considerada útil de cara a la realización de los levantamientos topográficos a los que normalmente se enfrenta esta unidad.

Encuesta.

La finalidad de esta encuesta es conocer la opinión del personal de esta unidad e identificar puntos clave para la implementación de este tipo de medios para levantamientos topográficos.

1. ¿Ve limitada su actuación con los medios actuales?
2. ¿Le parecería útil disponer de un medio RPAS?
3. ¿Mejoraría su procedimiento con un medio RPAS?
4. ¿Conoce la normativa legal?
5. ¿Cree que la normativa legal limita su uso?
6. ¿Qué características tendría en cuenta para su adquisición?
7. ¿Qué tipo de RPAS recomendaría para su adquisición?
8. ¿Cree que mejoraría el rendimiento al procedimiento actual?
9. Con el uso de RPAS, ¿cómo observa el factor de la seguridad?
10. Con el uso de RPAS, ¿cree que obtendría más información?
11. Con el uso de RPAS, ¿aumentaría el radio de cobertura?
12. Con el uso de RPAS, ¿disminuiría el tiempo empleado?
13. ¿Considera adecuadas las infraestructuras existentes para el almacenamiento y mantenimiento de medios RPAS?
14. ¿Ve positivo optar por una línea innovadora como son los medios RPAS?

<u>Aspectos técnicos del RPAS</u>	<u>Importancia</u>				
Autonomía	1	2	3	4	5
Alcance	1	2	3	4	5
Capacidad de vuelo	1	2	3	4	5
Velocidad	1	2	3	4	5
Peso	1	2	3	4	5
Limitaciones por condiciones atmosféricas	1	2	3	4	5
Carga útil	1	2	3	4	5
Software	1	2	3	4	5
Explotación inmediata de la información	1	2	3	4	5
Mantenimiento	1	2	3	4	5

Del 1-5 en grado de importancia (5 más importante).

A.3. Resultados.

El análisis de los resultados, al igual que el formulario, se divide en dos partes. En la primera se recogen los resultados obtenidos en la parte de preguntas abiertas; en concreto se recoge un resumen de las respuestas indicando, cuando las respuestas son muy concisas, el número de personas que indicaron esa respuesta. En la segunda parte se recoge el resultado de la valoración de los aspectos técnicos que debe tener un RPAS para realizar los levantamientos topográficos encargados a esta unidad.

Resultados preguntas abiertas

1. ¿Ve limitada su actuación con los medios actuales?

Uno de los aspectos más destacados en la respuesta a esta pregunta fue los problemas de seguridad que implican los medios actuales, dado que el personal está muy expuesto en zonas no reconocidas, en algunos casos, y en zonas peligrosas, por los accidentes del terreno. Es un punto a mejorar.

El segundo factor destacado es la eficiencia al trabajar, ya que las unidades están limitadas por el material y personal del que se dispone y no se puede aumentar el ritmo de trabajo.

El tercer factor es la gran extensión del terreno con la que muchas veces se trabaja, que hace que se necesite cambiar de asentamiento para cubrir todo el terreno y, por tanto, emplear mucho tiempo.

2. ¿Le parecería útil disponer de un medio RPAS?

Los RPAS pueden ser una herramienta útil, valorándose sobre todo la reducción del riesgo que implicaría la adopción de esta tecnología. Sin embargo, cabe destacar que existe una cierta desinformación a cerca de estos medios. (7)

Sí, creo que es adecuado y sería un paso a la modernización del REI 11. (5)

Creo que es una opción muy válida para conseguir una mayor eficiencia en nuestro trabajo. (1)

Sí, ya que se accedería a lugares que a acceder a pie no es posible. (1)

3. ¿Mejoraría su procedimiento con un medio RPAS?

Sí, hay aspectos que se optimizarían con ese material. (2)

Sí, aumentaría la seguridad en los trabajos. Muy importante. (11)

Sí, creo que se cubriría más terreno con estos sistemas. (1)

4. ¿Conoce la normativa legal?

No, pero es un tema complejo. (12)

He escuchado sobre estas leyes, pero es muy complejo. (2)

5. ¿Cree que la normativa legal limita su uso?

No sé cómo influye en estos trabajos. (13)

En nuestro caso no tanto. (1)

6. ¿Qué características tendría en cuenta para su adquisición?

Según las revistas y videos que he visto en internet, creo que es importante la autonomía y alcance, los implementos que puedan incorporar y el software. (1)

Software, para el análisis de datos y la autonomía. (5)

La capacidad de vuelo que tenga el sistema, el enlace de comunicaciones, el peso y la carga útil. (1)

La velocidad, el alcance y el mantenimiento del RPAS. (5)

Para zona de operaciones que soporte altas y bajas temperatura. (2)

7. ¿Qué tipo de RPAS recomendaría para su adquisición?

No conozco tipos de RPAS, por lo que no le puedo ayudar. (9)

Creo que se utilizan RPAS multirrotores. (4)

Un sistema multirrotores podría cubrir nuestras necesidades. (1)

8. ¿Cree que mejoraría el rendimiento al procedimiento actual?

Si, el ritmo se aumentaría, necesitaríamos menos tiempo para realizar el trabajo. (4)

Por supuesto, el procedimiento se optimizaría. (10)

9. Con el uso de RPAS, ¿cómo observa el factor de la seguridad?

Siendo militares, creo que es un factor determinante en nuestro trabajo, por lo que es básico. (1)

Necesario. (13)

10. Con el uso de RPAS, ¿cree que obtendría más información?

Si, tiene mayor exactitud que los medios actuales. (8)

Creo que sí y no se emplearía tanto tiempo como hoy en día. (6)

11. Con el uso de RPAS, ¿aumentaría el radio de cobertura?

Sí, creo que ofrecen mayor radio. (9)

No sé, no estoy seguro. (5)

12. Con el uso de RPAS, ¿disminuiría el tiempo empleado?

Claro, ahora se emplea demasiado tiempo. (5)

Sería un gran paso. (2)

Sí, sin lugar a dudas es el futuro en lo que a levantamientos topográficos se refiere.

(7)

13. ¿Considera adecuadas las infraestructuras existentes para el almacenamiento y mantenimiento de medios RPAS?

Sí, porque creo que es un sistema pequeño, no se necesita mucho espacio. (5)

Sí, creo que tenemos buenas instalaciones. (4)

Si, nuestro personal puede proporcionarle el mantenimiento adecuado. (3)

Sí, los RPAS de pequeño tamaño no necesitan infraestructuras de gran tamaño.

(2)

14. ¿Ve positivo optar por una línea innovadora como son los medios RPAS?

Sí, es un paso a favor de los cambios tecnológicos. (1)

Sí, es una inversión a corto y largo plazo. (8)

Sí, creo que muchos ejércitos están dándole varios usos, podríamos dar el paso y comenzar en este batallón. (5)

Resultado de la valoración de los aspectos técnicos

Se detallan a continuación los resultados obtenidos en la encuesta de valoración de los aspectos técnicos más importante de un RPAS. En la siguiente tabla se observan las respuestas individuales de dicho personal encuestado, reflejando también la media, la mediana y desviación estándar de la muestra encuestada.

Encuestados	Autonomía	Alcance	Capacidad de vuelo	Velocidad	Peso	Limitaciones por condiciones atmosféricas	Carga útil	Software	Explotación inmediata de la información	Mantenimiento
Oficial 1	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	4,00	4,00	4,00	3,00	5,00
Oficial 2	5,00	4,00	3,00	3,00	1,00	3,00	2,00	5,00	2,00	3,00
Oficial 3	4,00	4,00	4,00	1,00	1,00	3,00	1,00	5,00	1,00	3,00
Oficial 4	5,00	5,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	5,00	2,00	4,00
Suboficial 1	4,00	4,00	2,00	2,00	1,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00
Suboficial 2	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	2,00
Suboficial 3	5,00	5,00	4,00	4,00	1,00	3,00	2,00	4,00	3,00	2,00
Suboficial 4	5,00	4,00	3,00	1,00	1,00	4,00	1,00	4,00	2,00	3,00
Suboficial 5	5,00	4,00	4,00	1,00	3,00	3,00	2,00	4,00	1,00	5,00
Suboficial 6	4,00	5,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	5,00	1,00	2,00
Suboficial 7	5,00	5,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	4,00	2,00	4,00
Tropa 1	5,00	5,00	4,00	1,00	3,00	3,00	2,00	5,00	3,00	3,00
Tropa 2	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	4,00	2,00	5,00	2,00	2,00
Tropa 3	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	3,00	3,00	4,00	2,00	3,00
Media	4,69	4,54	3,23	1,77	1,38	3,08	1,85	4,38	2,15	3,15
Mediana	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	3,00	2,00	4,00	2,00	3,00
Desviación estándar	0,47	0,51	0,70	0,89	0,74	0,83	1,07	0,63	0,77	1,03

Tabla 12 – Resultados de la valoración de los aspectos técnicos de un RPAS.

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura recoge un gráfico de barras 3D elaborado con los valores de media obtenidos para cada uno de los aspectos valorados. En este gráfico se observa claramente como destacan los aspectos de autonomía, alcance y software, con un valor medio por encima de 4, y, en un segundo plano, los de capacidad de vuelo, limitaciones por condiciones atmosféricas y mantenimiento, con un valor por encima de 3. En cuanto los requisitos menos importantes o trascendentes destacan la velocidad, el peso, la carga útil y la explotación inmediata de la información, con valores por debajo de 2.



Figura 12 - Gráfico con los resultados obtenidos en la valoración de los aspectos más importante de un RPAS.
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice B. Estudio de viabilidad.

ESTUDIO DE VIABILIDAD

La presente plantilla de estudio de viabilidad (incluyendo el “esquema de análisis de riesgos” que la cierra) ha sido proporcionada por el Capitán Batanero, perteneciente al Ejército del Aire, que actualmente se encuentra destinado en la Base Aérea de Maticán. Dicho documento se utiliza en dicha Unidad y en el Curso Teórico Avanzado de RPAS/AESA que se imparte en la citada base para saber cómo realizar el estudio de viabilidad para el uso de medios RPAS sobre una determinada zona en territorio nacional.

Evaluación del Riesgo en Operaciones con RPAS

En la operación de aeronaves pilotadas por control remoto en **territorio nacional**, los operadores, deberán realizar un estudio aeronáutico de seguridad y gestión de riesgos, para valorar el nivel de seguridad de la actividad que se pretende desarrollar, es decir en qué campo de riesgo (no tolerable, tolerable o aceptable), se encuentra, y las medidas mitigadoras de riesgo que deberá adoptar para que el nivel de riesgo sea aceptable.

Por lo anteriormente expuesto, se analizará, valorará y se dará una puntuación a la actividad a realizar en base a los riesgos encontrados y a continuación, con las medidas mitigadoras aplicadas, de manera que permita desarrollar la actividad, dentro de un marco de riesgo ACEPTABLE.

En nuestro sistema de evaluación consideraremos: **MEDIOS, ENTORNO Y PERSONAS.**

- Infraestructura de la zona de vuelo
- Obstáculos
- Prestaciones de la aeronave
- Trayectoria de despegue para eludir los obstáculos
- Procedimientos de vuelo
- Comunicaciones y zona de sobrevuelo
- Transmisión de datos “LINK” de mando y control
- Documentación
- Entrenamientos
 - Pilotos
 - Personas de seguridad operacional en tierra.

La evaluación de los riesgos se basa en unas matrices de evaluación de “riesgos” expuestas a continuación como tablas 13, 14, 15 y 16, y el responsable de dicha evaluación deberá seguir el esquema de análisis de riesgos mostrado en el **ANEXO 1**. Este modelo tiene de particular que introducimos un valor, la “EXPOSICION”, al que se asignará un valor entre +3 y -3, en función de la frecuencia con la que se realiza la actividad. Este valor será cero en el caso de que no se considere como factor.

La tabla 13 muestra los valores del (nivel de riesgo), de forma gráfica en azul, amarillo y rojo. Esta gama, es obtenida multiplicando el valor de la **Probabilidad** (frecuencia), dato que lo obtendremos en base a experiencia en el problema analizado, otorgándole un valor, contemplando la frecuencia con la que ha ocurrido anteriormente el mismo, por el valor de la **Severidad** (consecuencias), dato que valoraremos en función de las consecuencias en el caso de que ocurra el percance, y sumando o restando el valor de la “EXPOSICION”, a ésta cifra.

A la hora de establecer la **Probabilidad**, se sugiere en principio considerar que ésta sea:

- **Muy alta:** cuando se considere que el evento puede presentarse más de una vez cada 10 vuelos;
- **Alta:** cuando se considere que el evento puede presentarse entre 1 y 10 veces cada 100 vuelos;
- **Media:** cuando se considere que el evento puede presentarse entre 1 y 10 veces cada 1.000 vuelos;
- **Baja:** cuando se considere que el evento puede presentarse entre 1 y 10 veces cada 10.000 vuelos, y
- **Muy baja:** cuando se considere que el evento puede presentarse menos de 1 vez cada 10.000 vuelos.

En cuanto a la **Severidad** (consecuencias) de un evento se sugiere en principio utilizar la siguiente valoración:

- **Muy alta:** Podría causar muerte o incapacidad total permanente de personas, pérdidas económicas superiores a 700.000 euros, o daños graves irreversibles al medio ambiente.
- **Alta:** Podría dar lugar a incapacidades parciales permanentes, lesiones o enfermedad profesional que pueda resultar en hospitalización de al menos tres personas, pérdidas económicas entre 150.000 y 700.000 euros, o daños graves al medio ambiente reversibles con aplicación de medidas de corrección.
- **Media:** Podría causar lesiones o enfermedades ocupacionales que resulten en uno o más días de trabajo perdidos, pérdidas económicas entre 7.000 y 150.000 euros, o daños mitigables al medio ambiente sin necesidad de aplicación de medidas de corrección.
- **Baja:** Podría resultar en una lesión o enfermedad que no resulte en una pérdida de jornada de trabajo, pérdidas económicas entre 1.500 y 7.000 euros, o daños mínimos al medio ambiente que no requieren restauración.
- **Muy baja:** Podría resultar en pérdidas económicas inferiores a 1.500 euros.

		PROBABILIDAD				
		Muy baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)	Muy alta (5)
SEVERIDAD	Muy alta (5)	5	10	15	20	25
	Alta (4)	4	8	12	16	20
	Media (3)	3	6	9	12	15
	Baja (2)	2	4	6	8	10
	Muy baja (1)	1	2	3	4	5

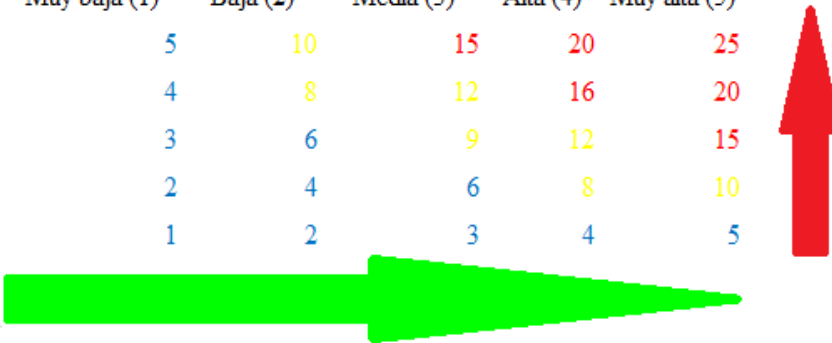


Tabla 13 – Matriz de riesgo.
Fuente: (Ejército del Aire, 2011).

Si a una de las actividades se le asigna un valor “cero” en severidad o probabilidad, el resultado final será cero, pero de cualquier modo será incluido en el informe de riesgo.

	<i>Índice de riesgo</i>
0 – 6	Puede ser aceptable, de cualquier forma, revisar la operación para ver si el riesgo (probabilidad, severidad, exposición o todo) puede ser reducido más adelante.
7 – 14	La operación solo debe llevarse a cabo con la autorización explícita de la dirección. La operación debería ser redefinida en la medida de lo posible teniendo en cuenta los riesgos implicados, o debería procederse a reducirlos antes del comienzo de la operación.
15 - 25	La operación no debe realizarse. Debería ser rediseñada la operación o ampliadas las medidas de seguridad para reducir el índice de riesgo, antes de comenzar la operación.

Tabla 14 – Índices de riesgo.
Fuente: (Ejército del Aire, 2011).

Mediante las tablas 15 y 16 tendremos otra forma alternativa de organizar la evaluación, para conseguir reducir el riesgo de la operación en la zona estudiada.

La tabla 15 muestra la posibilidad de conseguir un nuevo “Índice de Riesgo”. Consiste en introducir “Medidas Mitigadoras” del riesgo, reflejando los resultados en la columna de la derecha, lo que gráficamente nos permite compararlo con el inicial, y valorar si podemos realizar o no, la operación.

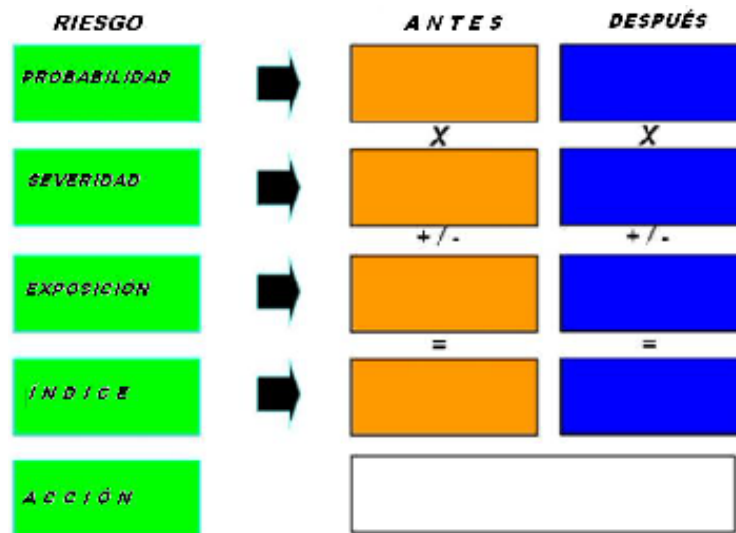


Tabla 15 – Índices de riesgo.
Fuente: (Ejército del Aire, 2011).

Por último, en la tabla 16 podemos ver los valores de “probabilidad, severidad y exposición”, que proporcionan el “índice de riesgo” antes y después de aplicar las “medidas mitigadoras” y por último obtener el “INDICE DE RIESGO RESIDUAL” que nos permitirá desarrollar la operación o no. Esto es un ejemplo en el que se contemplan únicamente dos situaciones. De igual modo se analizarán todas las demás circunstancias en que se pueda incurrir en peligros potenciales, que se habrán de incluir en este estudio de seguridad.

Puntos de peligros potenciales	Probabilidad/ Severidad/ Exposición	Índice de riesgo	Factores Mitigadores	Probabilidad/ Severidad/ Exposición	Índice de Riesgo residual
Perdida de contacto visual con la aeronave al volar por detrás de un obstáculo.	4/3/3	15	Sectorizar la parcela de trabajo, de manera que sólo se vuele una zona, en la que el “obstáculo”, no interfiera el contacto visual con la aeronave. Construir una zona aterrizable al otro lado del obstáculo para poder realizar vuelos, también al otro lado del obstáculo con seguridad.	4/1/3	7
Pérdida de control de la aeronave al sobrevolar una zona de sotavento.	4/4/3	19	Se establecen cursos de formación Meteorológica, así como la incorporación equipos de medida de intensidad y dirección del viento a la zona de operación. Establecemos limitaciones de viento, para realizar la operación dentro de un margen en el que no afecten el sotavento del obstáculo.	1/4/3	7

Tabla 16 – Medidas.
Fuente: (Ejército del Aire, 2011).

ANÁLISIS DEL RIESGO

En el análisis de los posibles riesgos nos haremos cinco preguntas:

¿Que podría suceder?

¿Qué probabilidad hay de que suceda?

¿Cuáles son las consecuencias si esto ocurre?

¿Podemos mitigar o reducir los riesgos?

¿Es aceptable el riesgo residual?

- Si es aceptable, puede realizarse la actividad.
- Si no lo es, iniciar de nuevo el proceso de “evaluación de riesgos” introduciendo medidas mitigadoras o limitaciones, o suspender la actividad.

AMBITO DE APLICABILIDAD

Este sistema de Evaluación de Riesgos, tiene aplicación en todas las áreas o elementos que componen la actividad de los RPAS. Referido a una organización, a un trabajo específico, a personas que van a desarrollar la operación, medios que se van a utilizar o entorno en el que se va a desarrollar la actividad.

Las organizaciones tendrán que demostrar que el entorno en el que se mueven está posicionado dentro del campo de “riesgo aceptable”. Esto no es sencillo a la hora de analizar una operación, en el que no hay una experiencia previa. Por lo tanto, esta situación hará que haya campos, en los que no podamos evaluar con la precisión con la que lo haríamos, teniendo un “histórico de análisis de fallo”, de antemano.

Las organizaciones harán un estudio de toda la estructura de la misma, analizando los campos mencionados anteriormente.

Personas:

El equipo humano de una organización es uno de los pilares fundamentales, por ésta razón deberán contemplar:

La formación recibida, la experiencia en la operación y la experiencia en el tipo de aeronave.

En lo referente a formación podemos distinguir, la formación teórica; normativa de aplicación, conocimientos de meteorología, performances, cartografía, factores humanos etc.

En cuanto a la experiencia en vuelo, es de un valor importante, que la organización cuente con pilotos, instructores, personal de apoyo, que hayan recibido el entrenamiento y formación necesaria.

Entorno:

El “entorno” en el que desarrolla la operación, tiene una incidencia importante en cuanto al “riesgo” y análisis de posibles “amenazas”, que puedan afectar a una operación determinada. No es igual estar operando en zona de montaña, en la que podemos tener condiciones meteorológicas especiales de la zona, que estar en una zona de llano sin obstáculos. No es lo mismo operar en zonas con posible concentración de tráfico, cerca de aeródromos o zonas controladas, que en un área libre de posibles amenazas. Los responsables de las organizaciones, tendrán que analizar las zonas de sobrevuelo, áreas de aproximación y aterrizaje, obstáculos en la zona, zonas de aterrizaje de emergencia, poblaciones y control de personas, coordinación con otras aeronaves en la misma zona de trabajo, realizando una “evaluación de riesgos” y aplicando las medidas “mitigadoras” “necesarias para una OPERACIÓN SEGURA.

Medios:

Cuando hablamos de medios, nos estamos refiriendo a todos los equipos que intervienen en la operación; aeronaves, medios de recepción de información meteorológica y NOTAM, acceso y divulgación interna de normativa, información técnica, etc.

Es importante que un operador muestre como gestionará los posibles fallos de los equipos, falta de comunicación, aeronave – estación de control en tierra, fallo del tipo de control “con piloto automático” o “manual”, y, sobre todo, los sistemas de emergencia de los que dispongan.

Es importante que los responsables de la operación cuenten con los medios adecuados no sólo en cuanto los específicos de la operación, aviones, helicópteros, sino también en cuanto a medios para recabar información, meteorológica, técnica etc.

En cuanto a la propia aeronave y su estación de control, quien estará mejor posicionado para hacer la evaluación será sin duda su fabricante. Sería pues ideal que el operador requiriese al fabricante para que le facilitara el estudio de seguridad que haya desarrollado.

Todos los datos recogidos de la envolvente de la operación serán introducidos en el Análisis de Riesgos, y mediante medidas “mitigadoras” conseguir una OPERACIÓN SEGURA.

Cuestionario de seguridad:

Adicionalmente a la utilización de la metodología anteriormente descrita, se recomienda la utilización del cuestionario que figura en el Anexo 2, para completar la evaluación de la seguridad de la operación.

ESQUEMA DE ANALISIS DE RIESGOS

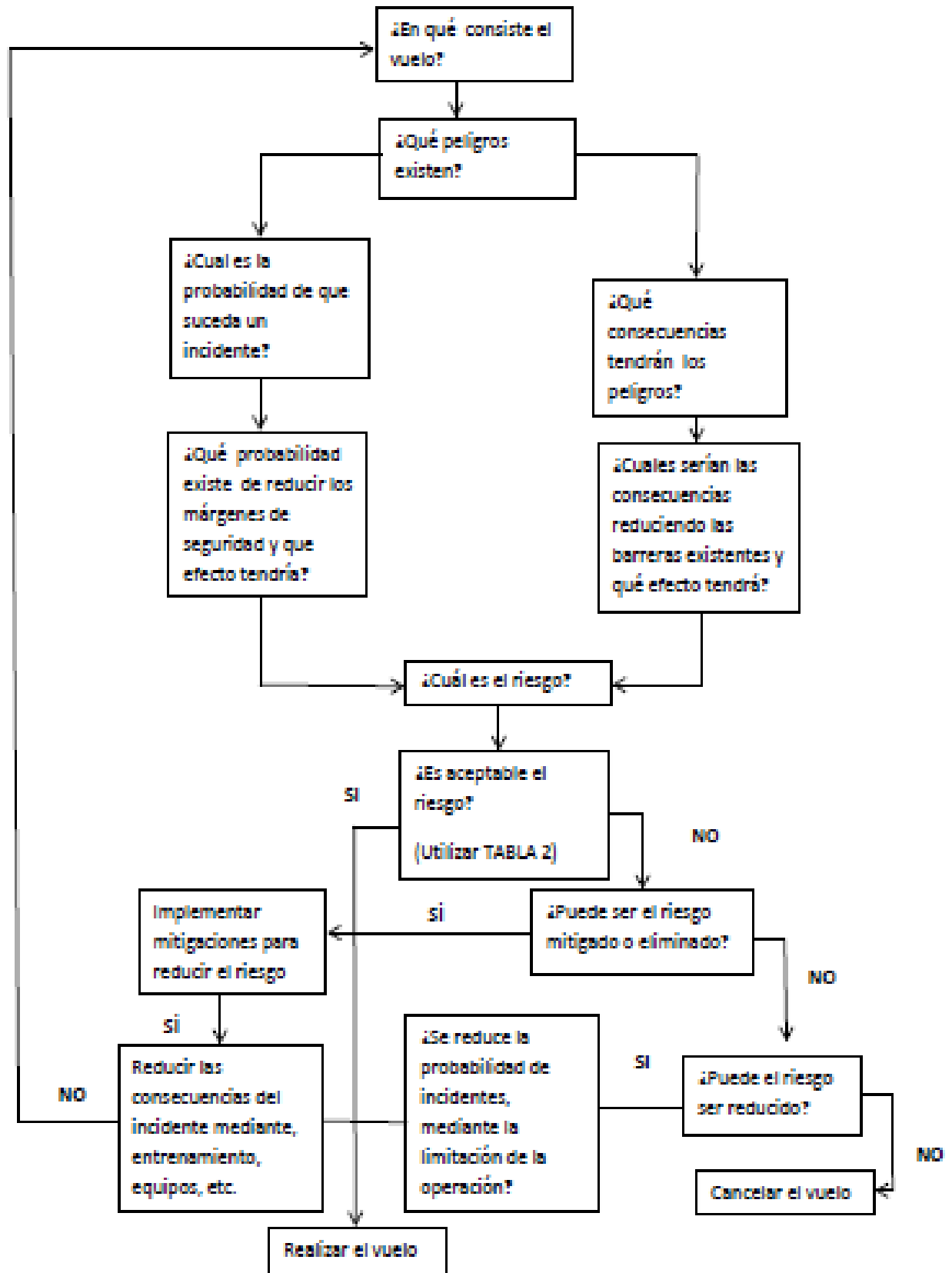


Figura 13 - Análisis de riesgos.
Fuente: (Ejército del Aire, 2011).

Apéndice C. Evaluación de riesgos.

Project Name:			Utilización de medios RPAS en unidades de Ingenieros para levantamientos topográficos						
Project Leader:			C.A.C. D. Guillermo Julián Marcos Peláez						
Risk Evaluation									
ID	Risk Description	Risk categories	Reason for risk	Impact (low, middle, high)	Probability (1,2,3)	Risk-class	Risk Effects	Measure	Risk class after measure implementation
1	Falta de instrucción	Personal	El personal no puede realizar la suficiente instrucción con los medios RPAS por falta de medios.	M	1	1M	El personal no tiene soltura para cumplir el régimen horario y causan averías en los RPAS.	Adquisición de medios de instrucción, o utilizar los recursos que se encuentran en Matación, sistema de simulación.	1L
2	Personal no cualificado	Personal	Falta de plazas para el curso de obtención de la licencia tipo I.	H	1	1H	Los operadores no pueden manejar los RPAS, por la tanto la unidad pierde efectividad.		
3	Personal en contra del cambio tecnológico	Personal	Falta de motivación del personal y que sean reacios al cambio de procedimiento	H	1	1H	El personal no quiera cualificarse en este aspecto, y se acomode a lo conocido.	Concientizar e informar al personal de las ventajas y beneficios de los RPAS.	1L
4	Sobrepasar el presupuesto inicial	Coste	El material adquirido no cumpla nuestras expectativas y requiera nuevos implementos.	L	1	1L	Aumenta el periodo de recuperación de la inversión inicial.		
5	Sistemas RPAS averiados	Mantenimiento	Los medios RPAS no tienen un mantenimiento diario.	L	1	1L	Disminuye la eficiencia de la unidad (inutilización de los medios).	Concientizar al personal de la importancia del mantenimiento diario.	1L
6	Terreno abrupto	Uso	La lluvia y obstáculos posibles no permiten una visión directa del terreno.	L	1	1L	La nube de puntos no es tan detallada, se obtiene una información menos detallada.		
7	Espacio segregado	Uso	No obtenemos la autorización para la utilización de RPAS.	H	1	1H	No se puede operar con RPAS en el espacio solicitado.	Enviar con 15 días de antelación un estudio de la zona y cada vez que se utilice la zona enviar el NOTAM.	1L
8	Elementos contra RPAS	Uso	Zona de operaciones, que el enemigo disponga de material contra RPAS, es decir, inhibidores, redes, etc.	M	1	1M	No permite la utilización de RPAS.		
9	Volumen de los archivos generados	Uso	Se generan archivos de gran tamaño.	L	1	1L	Debido al gran tamaño de los archivos, los sistemas de tratamiento necesitan más tiempo.		
10	Condiciones meteorológicas adversas	Uso	Limitaciones por condiciones atmosféricas.	M	1	1M	No se emplean los RPAS si no están en su rango.		